



Filosofía de la Ciencia



Universidad
Virtual
de Quilmes



Filosofía de la Ciencia

Pablo Lorenzano

Carpeta de trabajo

Lorenzano, Pablo
Filosofía de la ciencia. - 1a ed. - Bernal : Universidad Virtual de Quilmes, 2004.
136 p. ; 29x21 cm.

ISBN 978-987-1782-38-3

1. Filosofía de la Ciencia. I. Título.
CDD 100

Diseño original de maqueta: Hernán Morfese

Procesamiento didáctico: Marina Gergich / Adriana Imperatore

Primera edición: marzo de 2004

ISBN: 978-987-1782-38-3

© Universidad Virtual de Quilmes, 2004

Roque Sáenz Peña 352, (B1876BXD) Bernal, Buenos Aires

Teléfono: (5411) 4365 7100 | <http://www.virtual.unq.edu.ar>

La Universidad Virtual de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes se reserva la facultad de disponer de esta obra, publicarla, traducirla, adaptarla o autorizar su traducción y reproducción en cualquier forma, total o parcialmente, por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo fotocopias, grabación magnetofónica y cualquier sistema de almacenamiento de información. Por consiguiente, nadie tiene facultad de ejercitar los derechos precitados sin permiso escrito del editor.

Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

Impreso en Argentina

Íconos



Lectura obligatoria

Es la bibliografía imprescindible que acompaña el desarrollo de los contenidos. Se trata tanto de textos completos como de capítulos de libros, artículos y "papers" que los estudiantes deben leer, en lo posible, en el momento en que se indica en la Carpeta.



Actividades

Se trata de una amplia gama de propuestas de producción de diferentes tipos. Incluye ejercicios, estudios de caso, investigaciones, encuestas, elaboración de cuadros, gráficos, resolución de guías de estudio, etc.



Leer con atención

Son afirmaciones, conceptos o definiciones destacadas y sustanciales que aportan claves para la comprensión del tema que se desarrolla.



Para reflexionar

Es una herramienta que propone al estudiante un diálogo con el material, a través de preguntas, planteamiento de problemas, confrontaciones del tema con la realidad, ejemplos o cuestionamientos que alienten la autorreflexión, etc.



Lectura recomendada

Es la bibliografía que no se considera obligatoria, pero a la cual el estudiante puede recurrir para ampliar o profundizar algún tema o contenido.



Pastilla

Se utiliza como reemplazo de la nota al pie, para incorporar informaciones breves, complementarias o aclaratorias de algún término o frase del texto principal. El subrayado indica los términos a propósito de los cuales se incluye esa información asociada en el margen.

Índice

Introducción	11
Problemática del Campo.....	12
Objetivos	13
1. Introducción: naturaleza y función de la filosofía de la ciencia	13
1.1. Importancia de la ciencia en nuestra sociedad	13
1.2. Los estudios metacientíficos	14
1.3. La teorización filosófica sobre la ciencia o filosofía de la ciencia	15
1.3.1. Su denominación	15
1.3.2. Su naturaleza y relación con otras disciplinas metacientíficas	15
1.3.3. La distinción entre filosofía general y filosofía especial de la ciencia.....	17
1.3.4. La distinción entre filosofía sincrónica y filosofía diacrónica de la ciencia.....	17
Referencias bibliográficas	29
2. Conceptos e hipótesis científicas	33
2.1. El lenguaje de la ciencia	33
2.2. Conceptos científicos.....	34
2.2.1. Tipología de conceptos.....	34
2.2.2. Conceptos comparativos (o topológicos).....	37
2.2.3. Conceptos métricos (o cuantitativos).....	39
2.3. Enunciados científicos: las hipótesis y su contrastación.....	42
2.3.1. La contrastación de hipótesis	49
2.3.2. Los elementos de la contrastación.....	49
2.3.3. Las condiciones para una buena contrastación.....	52
2.3.4. Estructura de la contrastación: argumentos a favor o en contra de la hipótesis.....	54
2.3.5. Contrastaciones cruciales.....	60
2.3.6. Observaciones finales sobre la contrastación de hipótesis	62
Referencias bibliográficas	67
3. Leyes y explicación científicas	69
3.1. Tipos de leyes	69
3.1.1. Leyes naturales (o de la naturaleza) y leyes científicas (o de la ciencia).....	69
3.1.2. Leyes de sucesión (o causales) y leyes de coexistencia (o funcionales)	70
3.1.3. Leyes probabilistas (o estadísticas) y leyes no-probabilistas (o deterministas)	71
3.1.4. Leyes cualitativas y leyes cuantitativas.....	71

3.2. El concepto de ley científica	71
3.2.1. Condición de verdad.....	72
3.2.2. Condición de universalidad	73
3.2.3. Condición de irrestricción	74
3.3. La explicación científica	75
3.3.1. Explicación y cobertura legal inferencial.....	75
3.3.2. Pragmática de la explicación.....	85
3.3.3. Explicación teleológica y funcional.....	87
Referencias bibliográficas.....	91
4. Teorías científicas.....	93
4.1. La concepción clásica de las teorías.....	93
4.1.1. Cálculos y sistemas axiomáticos.....	94
4.1.2. Interpretación y reglas de correspondencia	95
4.1.3. Dificultades de la concepción clásica de las teorías.....	97
4.2. Las concepciones históricas de las teorías	100
4.2.1. El paradigma (matriz disciplinar) y su desarrollo.....	102
4.2.2. La comunidad científica.....	105
4.3. Las concepciones semánticas de las teorías.....	106
4.3.1. La concepción estructuralista de las teorías	111
Referencias bibliográficas.....	131

Introducción

La *filosofía de la ciencia* se ocupa de reflexionar sistemáticamente sobre la ciencia, de forma tal de llegar a comprender mejor tanto su naturaleza como la manera en que funciona. Al igual que la historia de la ciencia, la psicología de la ciencia o la sociología de la ciencia, forman parte de los llamados *estudios metacientíficos* o *estudios sobre la ciencia*, que tienen a la *ciencia* como *objeto de estudio*. Si llamamos *saber de segundo orden* a un saber que tiene a otro saber por objeto, y *saber de primer orden* al que constituye el saber-objeto en ese contexto, podemos decir que los *estudios metacientíficos* constituyen un *saber de segundo orden* sobre un saber de primer orden, *la ciencia*. Dentro de los estudios metacientíficos, la filosofía de la ciencia se caracteriza y distingue por ser un saber *filosófico* de segundo orden sobre la ciencia, es decir, por llevar a cabo la reflexión sobre la ciencia desde la filosofía, siendo así no sólo parte de los estudios sobre la ciencia, sino también parte de la *filosofía*. En términos generales, podría decirse que lo que caracteriza a la filosofía de la ciencia es la *elaboración de esquemas conceptuales interpretativos de carácter filosófico* con la *finalidad* de *entender a la ciencia*. Ésta, sin embargo, puede ser entendida como *actividad o proceso* o como *resultado o producto*. Dentro de los resultados o productos de la actividad científica nos encontramos con aquello por lo cual la ciencia resulta tan altamente valorada: un *tipo especial* de conocimiento o *saber*, distinto del proporcionado por la experiencia cotidiana, más sistemático, más preciso, de mayor alcance y mejor controlable intersubjetivamente. Para producir tal tipo de saber, a través de una práctica o actividad específica –a la luz de la cual adquieren sentido el resto de las prácticas científicas– que podemos denominar *conceptualización* o, en sentido amplio, *interpretación* o *teorización*, se introducen nuevos *conceptos*, se formulan *hipótesis* y *leyes* y, en última instancia, se construyen *teorías*. Es así que, por un lado, la filosofía de la ciencia –*en tanto análisis filosófico, conceptual* o *elucidación*, que *transforma un concepto* dado más o menos *inexacto* en otro nuevo *exacto* o, al menos, *más exacto* que el anterior– analiza los resultados o productos de la actividad científica, poniendo de manifiesto, explicitando o *elucidando* los aspectos filosófico-conceptuales de la actividad científica, esto es, *los conceptos fundamentales* de la actividad científica, tales como *hipótesis* o *ley*, y reordenanado conceptualmente o *reconstruyendo* los sistemas de conceptos (o *teorías*) producidos por la ciencia. Por otro lado –y en la medida en que la actividad científica involucra una serie de *prácticas convencionales* realizadas de acuerdo con ciertas *reglas, normas* o *convenciones* (aun cuando no haya un *conocimiento* explícito o consciente de las reglas involucradas, sino sólo *tácito, implícito* o *inconsciente*) y en que, si bien no para *practicar la ciencia correctamente*, aunque sí para *saber en qué* consiste llevarla a cabo, es necesario *conocer las reglas* que gobiernan dicha práctica–, al menos parte de la filosofía de la ciencia tiene por finalidad *hacer explícitas*

las reglas que rigen las diversas prácticas, tales como la *contrastación* o la *explicación*, de esa actividad que es hacer ciencia, haciéndola de este modo *comprensible*.

Este curso está concebido como una introducción a la reflexión filosófica sobre la ciencia. Se organiza en torno de ciertos temas que consideramos centrales y básicos en la reflexión metacientífica en general y en la filosófica en particular. Estos temas son el de la naturaleza y función de la filosofía de la ciencia (discutido en la Unidad 1), el de los conceptos científicos y la contrastación y evaluación de hipótesis (que será abordado en la Unidad 2), el de los conceptos de ley y explicación científicas (a ser tratado en la Unidad 3) y el de las teorías científicas, en sus dimensiones tanto sincrónica como diacrónica (tema de la Unidad 4). Durante el tratamiento de cada uno de estos temas haremos referencia permanente a métodos, desarrollos y autores pertenecientes a los diversos períodos que hemos identificado en la historia de la filosofía de la ciencia del siglo XX y lo que va del XXI. El curso se moverá en el nivel de la *filosofía general de la ciencia*, y aportará elementos que permitan, a partir de allí, reflexionar acerca de las distintas prácticas y teorizaciones científicas. Asimismo, posibilitará la vinculación de tales reflexiones con las realizadas desde otras perspectivas: histórica, psicológica y sociológica, de forma tal de contribuir a una comprensión más cabal de al menos uno de los aspectos del inquietante mundo que nos rodea: el de la ciencia.

Objetivos

1. Que el alumnado comprenda la naturaleza y función de la reflexión filosófica sobre la ciencia o filosofía de la ciencia y sus relaciones con otros estudios metacientíficos
2. Que el alumnado comprenda el análisis y la discusión de los temas centrales de la filosofía general de la ciencia (conceptos, hipótesis, leyes, explicaciones, teorías) realizados en los diversos períodos por los que ésta ha atravesado en el siglo XX y lo que va del XXI: período clásico, período histórico, período contemporáneo.
3. Que el alumnado adquiera la capacidad de plantear con rigor los problemas epistemológicos y sea capaz de presentar una cuestión y argumentar sobre ella con claridad y orden.

Introducción: naturaleza y función de la filosofía de la ciencia

Objetivos

1. Que el alumnado comprenda la relevancia de los estudios metacientíficos.
2. Que el alumnado adquiera una primera noción de la naturaleza y función de la reflexión filosófica de la ciencia o filosofía de la ciencia.
3. Que el alumnado comprenda [a grandes rasgos] el desarrollo de [las distintas etapas /distintos períodos por los que ha atravesado] la filosofía de la ciencia durante el siglo XX y lo que va del XXI.

1.1. Importancia de la ciencia en nuestra sociedad

La *ciencia*, siendo una *actividad* humana sumamente compleja, constituye uno de los fenómenos culturales más importantes de nuestro tiempo. Muchísimas personas se encuentran involucradas en el *proceso* científico: profesores, estudiantes, investigadores y administradores, proponiendo nuevas ideas o teorías o desechando viejas, escribiendo artículos, informes, tesis o libros de texto, impartiendo cursos en los distintos niveles de educación, buscando fondos o concediendo becas, premios o subsidios, sometiendo a examen hipótesis o alumnos, estimulando la formación o formándose, explicando o interpretando fenómenos, experimentando... Miles de millones de dólares se gastan anualmente en el mantenimiento de dicha actividad, en infraestructura y salarios. La actividad científica produce a su vez *resultados* de diversos tipos: adquisición de conocimientos y destrezas, viajes, negocios, modificaciones en las actitudes, prestigios, frustraciones, ilusiones, satisfacciones, stress, etc. En particular, la ciencia produce (y reproduce y transmite) un *tipo especial de saber* (o *saberes*) que se supone distinto al saber del sentido común, proveniente de la experiencia cotidiana y formulado en el lenguaje ordinario, un saber más sistematizado, con mayor alcance y precisión, y controlable intersubjetivamente. Para producir tal tipo de saber (o *saberes*) se introducen nuevos *conceptos*, se formulan *hipótesis* y *leyes* y, en última instancia, se construyen *teorías*, siendo el resultado de una práctica o actividad específica –a la luz de la cual adquieren sentido el resto de las prácticas científicas– que podemos denominar *conceptualización* o, en sentido amplio, *interpretación* o *teorización*. Este saber alcanza su mayor predominio como modo de conocimiento de la realidad (o de sus diferentes ámbitos, tanto de la naturaleza como de la sociedad, y aun de los individuos que la constituyen) en el siglo veinte, considerándose a la ciencia como (quizás) el logro intelectual supremo de la humanidad.

El aprecio y respeto que se siente en nuestro tiempo por la ciencia se manifiesta, sin embargo, no sólo en el mundo académico y universitario o en el apoyo que los gobiernos, las fundaciones privadas y los empresarios le brindan (de, al menos, los países llamados “desarrollados”, “industrializados” o “centrales”), aun cuando sea costosa y no siempre proporcione beneficios prácticos inmediatos, sino también en la vida cotidiana y a través de los medios masivos de comunicación. Cuando, por ejemplo, se denomina “científico” a alguna afirmación, línea de investigación o producto, y se pretende con ello darle algún tipo especial de mérito o de fiabilidad (tal el caso en donde se sostiene que los beneficios de un producto determinado han sido “comprobados científicamente”). Este reconocimiento y prestigio gozados por la ciencia no lo disfrutaban otros fenómenos culturales en tan alta medida.

Por otro lado, la ciencia se encuentra profundamente interrelacionada con la tecnología, y de este modo no se limita a conocer el mundo, sino que también lo transforma. Las consecuencias de dicha actividad resultan hoy en día evidentes: basta mirar en derredor nuestro para tomar conciencia de la cantidad de objetos tecnológicos que utilizamos o que están incorporados, de algún modo u otro, en nuestra vida o inquietudes cotidianas.

1.2. Los estudios metacientíficos

A pesar de la alta valoración que se tiene en nuestra sociedad por la ciencia (entendida como *actividad* o *proceso* o como *resultado* o *producto*) y de toda la atención que se le brinda a ella y a los científicos, muchas preguntas sobre la naturaleza de la ciencia y sobre cómo funciona permanecen sin responder.

Por lo general uno no se encuentra con tales preguntas formuladas explícitamente durante el *estudio* de alguna de las distintas disciplinas científicas o mientras *hace* ciencia, debido a que ellas no son preguntas *de la* ciencia, sino que son, antes bien, preguntas que uno se formula *sobre la* ciencia. De ellas se ocupan los llamados *estudios metacientíficos* o *estudios sobre la ciencia*, que tienen a la *ciencia* como *objeto de estudio*, que reflexionan *sobre la* ciencia. Recordemos que la actividad que hemos denominado, en sentido amplio, *teorización* genera saber. Llamaremos *saber de segundo orden* a un saber que tiene a otro saber por objeto, y *saber de primer orden* al saber-objeto en ese contexto. Así diremos que los *estudios metacientíficos* constituyen un *saber de segundo orden sobre un saber de primer orden, la ciencia*. Sin embargo, y debido a su gran complejidad, la ciencia no es susceptible de ser abordada desde un único punto de vista: cada uno de los *aspectos de la actividad científica* abre una perspectiva desde la que se puede estudiar dicha actividad. Sin ánimos de exhaustividad, mencionaremos al menos cuatro aspectos diferentes de la actividad científica objeto de reflexión metateórica: el *psicológico*, el *sociológico*, el *histórico* y el *filosófico*. Estos diferentes aspectos dan lugar, respectivamente, a cuatro *perspectivas distintas* a partir de las cuales se puede investigar dicha actividad: *psicología de la ciencia*, *sociología de la ciencia*, historia (o, con mayor propiedad, *historiografía*) *de la ciencia* y *filosofía de la ciencia*. Los llamados *estudios metacientíficos* o *estudios sobre la ciencia* están conformados precisamente por estas diversas teorizaciones de segundo orden sobre las teorizaciones (científicas) de primer orden. Pero si bien estas distintas perspectivas de la reflexión metacientífica se encuentran

relacionadas de maneras diversas y complicadas, y no exentas de tensión, son disciplinas diferentes. En lo que sigue nos centraremos en una de ellas, a saber: en la *teorización filosófica sobre la ciencia*.

1.3. La teorización filosófica sobre la ciencia o filosofía de la ciencia

1.3.1. Su denominación

Esta disciplina metacientífica ha recibido distintos nombres. En alemán, por ejemplo, se llama “Wissenschaftstheorie”, es decir, “teoría de la ciencia”, aunque en los últimos años también se utiliza la expresión “Wissenschaftsphilosophie”, o sea, “filosofía de la ciencia”, por influencia de la usual denominación inglesa “philosophy of science”. En francés se han utilizado, para referirse a esta disciplina, los términos “epistémologie” (“epistemología”) y “philosophie des sciences” (“filosofía de las ciencias”, en plural). En castellano se solía utilizar hace algunas décadas la denominación “metodología”. Sin embargo, en la actualidad las expresiones más habituales son “epistemología” o “filosofía de la ciencia”. Consideramos que estas denominaciones resultan más adecuadas que la anterior, ya que parecería ser que “metodología” se refiere sólo, o fundamentalmente, a los problemas relacionados con el método (o los métodos y, quizás, técnicas) de la ciencia. Sin embargo, como veremos más adelante, esta problemática no agota ni por mucho la diversidad y riqueza de los problemas abordados por la disciplina en cuestión. Por nuestra parte, preferimos adoptar en este texto la expresión “filosofía de la ciencia” en vez de “epistemología”, debido fundamentalmente a la ambigüedad de este último término, pudiendo significar no sólo lo que aquí denominamos “filosofía de la ciencia”, sino también algo más amplio (la *teorización filosófica sobre el conocimiento en general* o, más brevemente, “teoría del conocimiento”, a veces llamada “gnoseología”) o algo más limitado (la *teorización filosófica sobre el conocimiento científico en particular*, tratando de develar su especificidad respecto de otros tipos de conocimiento, pero dejando de lado otros aspectos filosóficos de la práctica y productos científicos). Una vez hechas estas aclaraciones terminológicas pasaremos a decir algo acerca de la naturaleza y de la historia de la disciplina aquí denominada “filosofía de la ciencia”.

1.3.2. Su naturaleza y relación con otras disciplinas metacientíficas

Se podría decir que lo característico de esta disciplina metacientífica, independientemente del nombre que reciba, es la *elaboración de esquemas conceptuales interpretativos de carácter filosófico* –o, como habíamos dicho antes, la *teorización filosófica*– con la *finalidad de entender a la ciencia*. La filosofía de la ciencia es así no sólo una parte de la metaciencia, sino también una *parte de la filosofía*, aquella que precisamente se encarga de *analizar a la ciencia*.

En general, el *análisis filosófico, conceptual* o, como también se lo llama, *elucidación* (“explication”, en inglés), consiste en *transformar un concepto* dado más o menos *inexacto* (el *explicandum*) en otro nuevo exacto (el *explicatum*) o, más bien, en *reemplazar* el primero por el segundo. De este último

Carnap, R., "Sobre la elucidación", *Cuadernos de epistemología*, n° 20, Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, 1960.



no se dice que proporciona una elucidación *verdadera* del primero, sino sólo que nos suministra una elucidación *satisfactoria* o *más satisfactoria* que la que dan otros *explicata* que se presentan como alternativos. Y una elucidación es adecuada o satisfactoria hasta cierto grado si el *explicatum* cumple fundamentalmente con el requisito de ser *más preciso* que el *explicandum*; esto es, si las reglas que gobiernan su uso están dadas en una forma exacta, como para introducirlo en un sistema bien conectado de conceptos. Hay, además, otros requisitos que debe cumplimentar el *explicatum* para proveer una elucidación satisfactoria: *semejanza* con respecto al *explicandum* (mas no sinonimia), de forma que pueda ser usado en la mayoría de los casos en los que hasta allí había sido usado el *explicandum*; *fertilidad*, de modo que permita mayores precisiones o precisiones más finas; y *simplicidad*, tanta como se lo permitan los requisitos anteriores, que son más importantes.

En tanto que análisis filosófico, conceptual o elucidación, la filosofía de la ciencia pone de manifiesto, explícita o *elucida* los aspectos filosófico-conceptuales de la actividad científica, esto es, *los conceptos fundamentales* de la actividad científica, tales como *hipótesis* o *ley*, y reordena conceptualmente o *reconstruye* los sistemas de conceptos (o *teorías*) producidos por la ciencia.

Por otro lado, la actividad científica involucra una serie de *prácticas convencionales*, prácticas que son realizadas de acuerdo con ciertas *reglas, normas o convenciones*, aun cuando no haya un *conocimiento* explícito o consciente de las reglas involucradas, sino sólo *tácito, implícito o inconsciente*. De hecho, para practicar una actividad cualquiera o, más aún, para *practicar correctamente* una actividad cualquiera (sea ésta científica o cotidiana, tal como hablar) *no es necesario que uno sepa* decir en qué consiste practicarla, formulando las reglas o principios que la rigen: basta con hacerlo de modo competente, acorde con el conocimiento tácito o implícito que de ella se tiene. Sin embargo, uno puede no sólo querer saber una lengua o *saber ciencia, en el sentido de practicarla* de acuerdo a su conocimiento tácito o implícito, sino también *saber en qué* consiste llevarla a cabo, *conociendo las reglas* que gobiernan dicha práctica. Al menos parte de la filosofía de la ciencia tiene por finalidad *hacer explícitas las reglas* que rigen las diversas prácticas, tales como la *contrastación* o la *explicación*, de esa actividad que es hacer ciencia, haciéndola de este modo *comprensible*.

Para realizar estas tareas no sólo *se apoya en*, dependiendo del caso y pertinencia, alguna o todas, las *otras disciplinas metacientíficas*, sino también en otras de las llamadas *ramas de la filosofía*, del tipo de la ontología, la teoría del conocimiento o la ética, y en *otras disciplinas*, fundamentalmente la lógica y las matemáticas, aplicando sus análisis y resultados al estudio específico de la ciencia, y constituyendo así otras tantas posibles ramas de la filosofía de la ciencia, a su vez estrechamente relacionadas entre sí. Se podría hablar, entonces, de una *lógica de la ciencia* (que se ocuparía de investigar la estructura lógica de las teorías científicas y los problemas lógicos y metalógicos de la lógica requerida por la ciencia), de una *semántica de la ciencia* (que sistematizaría los conceptos de sentido, referencia, representación, interpretación, verdad y afines, y analizaría su aplicación a la ciencia), de una *pragmática de la ciencia* (que examinaría el modo en que los científicos usan los distintos conceptos o esquemas conceptuales), de una *teoría del conocimiento científico* (que indagaría su especificidad respecto de otros tipos de conocimiento), de una *metodología de la investigación* (que investigaría, en

caso de existir, el método general en la ciencia y analizaría los distintos procedimientos, dispositivos, aparatos y métodos o técnicas específicos utilizados en las ciencias particulares), de una *ontología de la ciencia* (que analizaría y sistematizaría los supuestos y resultados ontológicos de la ciencia), de una *axiología de la ciencia* (que estudiaría el conjunto de valores, epistémicos y no-epistémicos, poseído por la comunidad científica), de una *ética de la ciencia* (que investigaría las normas morales que guían, o deberían guiar, la actividad científica) y de una *estética de la ciencia* (que examinaría los valores y cánones estéticos presentes en la investigación científica).

1.3.3. La distinción entre filosofía general y filosofía especial de la ciencia

Las distintas teorizaciones científicas se agrupan en *disciplinas*: lógica, matemática, física, química, biología, psicología, economía, sociología, etc. Las disciplinas, por su parte, se suelen agrupar en *unidades más amplias*: ciencias naturales, ciencias sociales y ciencias formales, conformando las dos primeras, a su vez, las denominadas *ciencias empíricas* (fácticas o factuales). Cuando se hace abstracción de las especificidades de las diferentes disciplinas, haciendo caso omiso de sus particularidades, y se analizan los *aspectos comunes* de la ciencia, el análisis correspondiente se mueve en el terreno de la denominada *filosofía general de la ciencia*. A un nivel menor de abstracción, en donde se analizan los *aspectos comunes* que pueden hallarse en *algunas disciplinas* agrupadas en las unidades más amplias anteriormente mencionadas, encontramos, por un lado, a la *filosofía de las ciencias formales* y, por el otro, a la *filosofía de las ciencias naturales* y la *filosofía de las ciencias sociales*, o, más generalmente, a la *filosofía de las ciencias empíricas*. Por último, la reflexión filosófica sobre las diversas disciplinas particulares, en donde se tratan problemas específicos de las teorizaciones pertenecientes a cada ciencia, y en donde se repiensen las problemáticas arriba señaladas en relación con ciencias o teorizaciones determinadas, da lugar a las distintas *filosofías especiales de la ciencia*: filosofía de la lógica, filosofía de la matemática, filosofía de la física, etc.

1.3.4. La distinción entre filosofía sincrónica y filosofía diacrónica de la ciencia

Desde un punto de vista temporal, la ciencia y sus distintas teorizaciones particulares pueden ser consideradas o bien en un momento histórico determinado (por ejemplo, la física newtoniana en el año de aparición de los *Principia*, 1687) o bien en su ocurrir a través de un período dado de tiempo (por ejemplo, durante su desarrollo desde fines del siglo XVII hasta fines del siglo XVIII). Tomando prestados de la lingüística los términos de *sincronía* y *diacronía*, podemos decir que si uno realiza un análisis filosófico considerando a la ciencia o sus teorizaciones particulares en un momento histórico determinado, dicho análisis se efectúa dentro del ámbito de la llamada *filosofía sincrónica de la ciencia*. Si, en cambio, el análisis abarca cierto intervalo temporal de la ciencia o de alguna de sus teorizaciones particulares, se dice que éste pertenece a la *filosofía diacrónica de la ciencia*, la cual se encuentra de un modo natural estrechamente relacionada con la historiografía de la ciencia.

Newton, I., *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, 1687; traducción castellana: Newton, I., *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*, Madrid: Editora Nacional, 1982.

Saussure, F. de, *Cours de linguistique générale*, Paris: Payot, 1916, publicado póstumamente, con base en los tres cursos impartidos en la Facultad de Letras de Ginebra entre 1906 y 1911. Traducción castellana: Saussure, F. de, *Curso de lingüística general*, Madrid: Akal, 1980.

La distinción de los contextos de la actividad científica

Esta distinción con esta terminología aparece en Reichenbach, H., *Experience and Prediction*, Chicago and London: The University of Chicago Press, 1938. Para su historia, discusión y eventual modificación y ampliación, véase: Echeverría, J., *Filosofía de la ciencia*, Madrid: Akal, 1995, cap. II, y Marcos, A., *Hacia una filosofía de la ciencia amplia*, Madrid: Tecnos, 2000, caps. 2-3.

Tradicionalmente, también se ha dicho que para estudiar mejor la ciencia resulta útil distinguir dos contextos: los llamados *contextos de descubrimiento y de justificación*.

El primero se relaciona con el modo en que a un científico se le ocurren los distintos conceptos, hipótesis, leyes o teorías, dadas ciertas condiciones o circunstancias, que pueden ser de muy diverso tipo: individuales, psicológicas, sociales, políticas, económicas, etc. El segundo se relaciona con el modo en que, una vez que a un científico se le ocurre algo (sea un concepto, una hipótesis, una ley o una teoría), e independientemente de cómo se le ocurrió, se determina la justificación, validez, legitimidad o fiabilidad de dicho descubrimiento. Se supone, además, que las problemáticas de ambos contextos son independientes y que deberían ser abordadas por disciplinas metateóricas distintas: las relativas al contexto de descubrimiento mediante la psicología de la ciencia, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia, especialmente, mientras que las concernientes al contexto de justificación a través de la filosofía de la ciencia, en particular, de la metodología y la lógica de la ciencia. Aquí sostendremos, en contra de esta concepción y de acuerdo con la idea de filosofía de la ciencia planteada más arriba, por un lado, que ambas problemáticas se encuentran estrechamente relacionadas y que (al menos algunas de) las pertenecientes al primer contexto también pudieran ser objeto de reflexión filosófica. Por el otro, que los dos contextos señalados hasta ahora resultan insuficientes a la hora de señalar los distintos ámbitos o contextos en los que se lleva a cabo la práctica científica, y que sería más adecuado señalar al menos cuatro: además de los *contextos de descubrimiento (o innovación)*, y de *justificación (o, mejor, de evaluación o valoración)*, los *contextos de educación (enseñanza y difusión de la ciencia)* y de *aplicación (a secas o, mejor, de aplicación tecnológica)*. De los dos primeros ya hablamos. En cuanto al tercero –el *contexto de educación*–, incluiría tanto las dos acciones recíprocas básicas de *enseñanza y aprendizaje* de esquemas conceptuales, pero también de técnicas operatorias, problemas y manejo de instrumentos, como la *difusión y divulgación o comunicación científica* (a través de libros, revistas, videos y programas de radio y televisión). El último –*contexto de aplicación*– analiza la ciencia a la hora de ser aplicada para modificar, transformar y mejorar el entorno [fundamentalmente a través de la creación [producción] de objetos tecnológicos].

Estos cuatro ámbitos se pueden presentar de modo separado, de acuerdo con las categorías analíticas propuestas, aunque pueden estar, y de hecho lo están, estrechamente interrelacionados entre sí, interactuando e influyéndose recíprocamente. En su análisis pueden intervenir, en menor o mayor medida, las distintas perspectivas metacientíficas, filosofía de la ciencia incluida, además de otras disciplinas no mencionadas hasta ahora, tales como la filosofía de la tecnología, la economía de la ciencia, la política y la gestión científicas y la pedagogía.

Breve historia de la filosofía de la ciencia

La filosofía de la ciencia posee una larga tradición. Podemos decir que nació con las reflexiones que efectuó Platón sobre las matemáticas en el siglo V a.C. Sin embargo, desde sus inicios hasta el primer cuarto del presente si-

glo, ésta era fundamentalmente una parte de la *teoría general del conocimiento* (también denominada *gnoseología* o *epistemología en sentido amplio*). Por lo general sus practicantes eran *filósofos* con intereses y formación en la ciencia o *científicos* con intereses y formación filosófica, que si bien reflexionaban filosóficamente sobre la ciencia, dicha reflexión no constituía su actividad central. Cuando lo hacían, sin embargo, era o bien con la intención de poder extender los resultados de dicha reflexión a otros ámbitos y poder así elaborar de una teoría general del conocimiento o con la pretensión de defender las afirmaciones de la ciencia entonces contemporánea o de identificar excesos epistemológicos en la ciencia e indicar el modo en que una ciencia reformada podría proveer conocimiento (en el caso de los filósofos) o bien con claros fines pedagógicos y profesionales, intentando captar la atención y estimular el interés en la ciencia y de guiar la práctica científica en determinada dirección (en el caso de los científicos).

Podría decirse que la filosofía de la ciencia surge como disciplina con especificidad propia, profesionalizándose, en el período de entreguerras, aun cuando la primera cátedra de Filosofía e Historia de la Ciencia data de 1895, fecha en que el físico, filósofo e historiador de la física Ernst Mach es nombrado catedrático de “Filosofía, en especial Historia y Teoría de las Ciencias Inductivas” en la Universidad de Viena. Esta profesionalización se da a partir de la conformación en los años veinte de lo que desde 1929 pasaría a denominarse oficialmente *Círculo de Viena*, y se consolida tras la llegada a los Estados Unidos de los principales filósofos de la ciencia centroeuropeos. A partir de ese momento, hay personas que se dedican sistemáticamente a reflexionar de manera filosófica sobre la ciencia, teniendo sus ingresos asegurados y pudiendo presentarse ante el mundo como filósofos de la ciencia sin provocar demasiado desconcierto en el auditorio, aunque sí suscitando un cúmulo de preguntas en torno al carácter de dicha actividad.

En su desarrollo desde entonces, podemos señalar tres etapas principales por las que ha atravesado la filosofía de la ciencia:

1. un período clásico, que abarca desde fines de los años veinte hasta finales de los años sesenta, en el que se establece la llamada *concepción heredada* (Carnap, Reichenbach, Popper, Hempel, Nagel, etc.);
2. un período historicista, iniciado en los años sesenta y dominante durante los años setenta y principios de los ochenta (Hanson, Toulmin, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, Laudan, etc.);
3. un período contemporáneo, que se inicia a comienzos de los años setenta y se extiende hasta nuestros días (Kitcher, Hacking, Ackermann, Hull, Thagard, Churchland, Boyd, Suppes, van Fraassen, Giere, Suppe, Sneed, Stegmüller, Moulines, Balzer, etc.).

1. Período clásico

Este período comenzó hacia fines de los años veinte con la labor realizada por el ya mencionado *Círculo de Viena*, alcanzando su desarrollo pleno durante el tiempo en que transcurre entre los años cuarenta y fines de los años sesenta. A pesar de que se suele designar la expresión más acabada de este período como a la *concepción heredada*, en él la filosofía de la cien-

Obras relevantes de estos autores, accesibles en castellano, son: Carnap, R., *Fundamentación lógica de la física*, Buenos Aires: Sudamericana, 1969; Popper, K., *La lógica de la investigación científica*, Madrid: Tecnos, 1962. Pueden consultarse, además, sus "autobiografías intelectuales": Carnap, R., *Autobiografía intelectual*, Barcelona, Paidós, 1992; Popper, K., *Búsqueda sin término*, Madrid: Tecnos, 1977.

cia estuvo marcada no por una sola concepción, sino por un conjunto de problemas abordados, posiciones y postulados que tenían un aire común. El primero denominado *positivismo lógico* y luego *empirismo lógico* y sus simpatizantes (dentro de los que se cuentan a Rudolf Carnap, posiblemente el más notorio filósofo de la ciencia del Círculo de Viena y junto a Karl Popper el filósofo de la ciencia más importante e influyente de este período, aunque también a H. Reichenbach, C.G. Hempel, P. Frank, H. Feigl, R. Braithwaite, E. Nagel, N. Goodman y tantos otros), el *racionalismo crítico* de K. Popper, el *realismo científico* de W. Sellars, M. Bunge u otros, y los *estudios a medio camino entre la lógica pura y la epistemología* (como los de A. Tarski, K. Ajdukiewicz, R. Montague o J. Hintikka) poseían un "aire de familia".

Dicho aire podría denominarse "clásico", en el sentido de que, si bien muchas de sus tesis y métodos son hoy considerados como "superados" por una gran parte de filósofos de la ciencia contemporáneos, éstos constituyen punto de referencia obligado para los desarrollos ulteriores, siendo imposible imaginar la filosofía de la ciencia actual sin tomar en cuenta los aportes realizados en dicho período. Algunos de los temas abordados durante este período fueron la demarcación entre ciencia y no-ciencia, la naturaleza de los conceptos científicos, la estructura de las teorías científicas, la relación entre teoría y experiencia, la metodología de la contrastación de hipótesis y su posterior evaluación, y la naturaleza de la explicación y predicción científicas. En casi cada uno de estos temas se suscitaban sonadas polémicas y discusiones: se propusieron distintos criterios de *demarcación entre la ciencia y la no-ciencia* (entendida esta última a su vez como *pseudociencia* por algunos, en especial Popper, y como *metafísica* por otros, particularmente Carnap); casi todos, pero no todos, aceptaban la distinción entre conceptos observacionales y conceptos teóricos, aunque divergían profundamente en la opinión acerca del papel que los últimos jugaban en la ciencia, según mantuvieran posiciones realistas, operacionalistas o nominalistas; aunque el *método hipotético-deductivo* era aceptado casi universalmente como el *método según el cual son contrastadas* (o sometidas a examen) *las hipótesis*, no había acuerdo respecto del modo de evaluar las contrastaciones exitosas de las hipótesis, ya fuera siguiendo el *confirmacionismo* de Carnap o el *corroboracionismo* de Popper; si bien todos consideraban a las teorías como *conjuntos de enunciados organizados* deductiva o *axiomáticamente*, no todos concordaban en el modo específico en que esto debía ser comprendido y precisado; aun cuando se aceptaba la *elucidación de los conceptos de explicación y predicción* científicas realizada por Hempel, dicha elucidación todavía dejaba margen para diferencias de detalle o aun para que fuera cuestionada en su universalidad. A fines de los años cincuenta, no obstante, ya comienzan a plantearse una serie de críticas a la filosofía de la ciencia de este período, que muestran sus propias limitaciones, debidas fundamentalmente a: la aplicación casi exclusiva de un formalismo lógico excesivamente rígido y limitado (la lógica de predicados de primer orden); la concentración en la filosofía general de la ciencia en desmedro de las filosofías especiales, y de esta manera proponiendo análisis de supuesta validez universal, pero con escasos ejemplos de tratamiento de casos científicos particulares; la casi total circunscripción de los análisis a los aspectos sincrónicos de la ciencia, con insuficiente o nula consideración de los diacrónicos; la restricción al análisis del contexto de justificación, haciendo caso omiso o dejándolo para otras disciplinas metacientíficas.

2. Período historicista

Las críticas a la concepción heredada provenían fundamentalmente de personas interesadas en la historia de la ciencia, que empezaron a ser conocidas bajo el nombre de *nuevos filósofos* de la ciencia; se suele decir que constituyen una verdadera revolución contra la filosofía de la ciencia del período clásico, al extremo no sólo de acusarla de demasiado simplista, sino de insinuar hacer filosofía de la “ciencia-ficción” y no de la ciencia real tal como la practican o practicaron los científicos. Sin embargo, si se toma en cuenta la multiplicidad y variedad de posiciones sostenidas por los positivistas o empiristas lógicos y demás filósofos de la ciencia clásicos, tanto antes como después de la Segunda Guerra Mundial, mayor aún que todo lo que fuera luego codificado y presentado reiteradamente en un sinnúmero de textos introductorios como *la filosofía de la ciencia del período clásico*, sería mejor caracterizar los cambios ocurridos en la filosofía de la ciencia durante los años sesenta como de *recuperación* o *profundización* de problemas tratados y de soluciones previamente avanzadas más que de auténtica *revolución*. De todos modos, la incidencia de estos *nuevos filósofos* (entre los que se destacan N.R. Hanson, T.S. Kuhn, I. Lakatos, P. Feyerabend, S. Toulmin, L. Laudan y D. Shapere) fue decisiva. La irrupción de la perspectiva histórica o historicista que en general les caracteriza marca definitivamente el desarrollo de la reflexión metacientífica posterior. Su influencia se hizo sentir en la puesta en primer plano de cuestiones tales como la importancia de los estudios históricos y de los determinantes sociales, la pertinencia de la distinción tajante entre el contexto de descubrimiento y el contexto de justificación, el problema de la carga teórica de las observaciones y el problema de la inconmensurabilidad entre teorías, las nociones de progreso y racionalidad científicos, la relevancia y alcance de los análisis formales y el problema del relativismo. Sin embargo, a la mayoría de sus tesis y estudios diacrónicos subyace, sin que impliquen en sentido estricto, una nueva concepción acerca de la naturaleza y estructura sincrónica de las teorías científicas, que se supone más apegada a la práctica científica tal como la historia nos las presenta. Esta nueva noción, a la que los nuevos filósofos se refieren con variada terminología (*paradigma* en Kuhn, *programa de investigación* en Lakatos, *tradición de investigación* en Laudan), sin embargo, es imprecisa, en ocasiones de modo tan extremo que termina por desdibujar casi en su totalidad lo que parecen intuiciones correctas. El principal motivo de los positivistas o empiristas lógicos para desarrollar una filosofía formal de la ciencia era justamente evitar un discurso metacientífico vago e impreciso. Y gran parte de las polémicas que surgieron tras la aparición en el panorama de los nuevos filósofos fueron generadas por la imprecisión y equivocidad de algunas de sus nociones centrales.

La mayoría de los filósofos de la ciencia sensibles a la perspectiva historicista concluyeron que la complejidad y riqueza de los elementos involucrados en la ciencia escapa a cualquier intento de formalización. Se consideraba no sólo que las formalizaciones como las realizadas en la concepción heredada eran totalmente inadecuadas para expresar estas entidades en toda su complejidad, sino que no parecía razonable esperar que ningún otro procedimiento de análisis formal capturara los elementos mínimos de esta nueva caracterización. Esta es la moraleja antiformalista que se extendió en muchos ambientes metacientíficos tras la *revuelta historicista*. Como conse-

► Kuhn, T.S., *La estructura de las revoluciones científicas*, México: Fondo de Cultura Económica, 1971; Lakatos, I., “La falsación y la metodología de los programas de investigación científica”, en Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, 1975, pp. 203-343; Laudan, L., *El progreso y sus problemas*, Madrid: Ediciones Encuentro, 1986.

Un completo panorama histórico de la sociología del conocimiento y de la ciencia se encuentra en: Lamo de Espinosa, E., González García, J.M. y C. Torres Albero, *La sociología del conocimiento y de la ciencia*, Madrid: Alianza, 1994.

Kitcher, P., *El avance de la ciencia*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2001; Giere, R.N., *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*, México: Conacyt, 1992.

Quine, W.V.O., "Naturalización de la epistemología", en Quine, W.V.O., *La relatividad ontológica y otros ensayos*, Madrid: Tecnos, 1974, pp. 93-119.

Hacking, I., *Representar e intervenir*, México: Paidós/Universidad Nacional Autónoma de México, 1996.

Sobre epistemologías evolucionistas, véase: Martínez, S.F. y L. Olivé (eds.), *Epistemología evolucionista*, México: Paidós/Universidad Nacional Autónoma de México, 1997.

cuencia, bajo el ala de estos filósofos se desarrolla toda una rama de los *estudios de la ciencia* (con importantes, aunque puntuales, antecedentes antes de los años sesenta), que se centra en el estudio de los determinantes sociales de la ciencia apoyándose en una considerable investigación empírica. Esta línea de investigación desemboca en el asentamiento durante los años ochenta de la sociología de la ciencia como disciplina.

3. Período contemporáneo

Esta no fue, sin embargo, la reacción de toda la comunidad metacientífica. Parte de ella, conformada por filósofos, sostuvo –en consonancia con el trabajo emprendido por los sociólogos de la ciencia– que la investigación de la ciencia debía ser llevada a cabo utilizando métodos, o basándose en resultados, pertenecientes a las ciencias naturales (P. Kitcher, R. Giere, P. Thagard, P. Churchland y P.M. Churchland, entre otros).

A estas propuestas de análisis, englobadas bajo el rótulo –debido a Quine– de “epistemologías naturalizadas”, pertenecen tanto los enfoques psicologistas o cognitivistas como algunos de los evolucionistas a los que aludiremos más adelante. Otra parte de la comunidad metacientífica ha abogado por una filosofía de la ciencia que tome más en cuenta los factores que conducen a la formulación de teorías (uso de instrumentos, experimentos, etc.) y no tanto las teorías mismas (I. Hacking, R.J. Ackermann, etc.).

Otros, desconfiando de los intentos por desarrollar una filosofía general de la ciencia, encontraron refugio o bien en el análisis de las disciplinas individuales o bien en el tratamiento de problemas filosóficos particulares. Dentro de la primera de las estrategias mencionadas, cabría mencionar que, mientras que la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica continuaron atrayendo la atención filosófica, el mayor crecimiento fue experimentado por las filosofías especiales de la biología, de la psicología y, en menor medida, de las ciencias sociales. Tan importante fue el desarrollo alcanzado por la filosofía de la biología, que podría decirse que esta disciplina comenzó a desbancar a la física en lo que respecta a ocupar el lugar central dentro de la reflexión filosófica, haciéndole recuperar a algunos filósofos la esperanza de desarrollar una filosofía general de la ciencia, tomando a la biología como modelo o patrón. Es así que nos encontramos con una serie de propuestas de análisis del desarrollo del conocimiento en general y/o del conocimiento científico en particular (que encuentran sus primeras formulaciones en las obras de K. Lorenz, D. Campbell, K. Popper y S. Toulmin y las más recientes en las de D. Hull, por ejemplo), conocidas con el nombre de “epistemologías evolucionistas”, que toman como base para su análisis (algún tratamiento específico de) la evolución biológica.

En cuanto a la segunda de las estrategias referidas, habría que señalar que una de las cuestiones que sin duda han sido más discutidas en este período dentro de la filosofía de la ciencia es la del realismo científico (partiendo de sus progenitores de los años sesenta W. Sellars, G. Maxwell y J.J.C. Smart y sus defensores más recientes como R. Boyd o I. Hacking, hasta sus más acérrimos detractores como B. van Fraassen), en conexión con la problemática semántica más general del realismo (del tipo discutido por W.V. Quine, D. Davidson, S. Kripke o H. Putnam).

Maxwell, G., "El estatus ontológico de las entidades teóricas", en Olivé, L. y A.R. Pérez Ransanz (eds.), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, México: Siglo XXI-Universidad Nacional Autónoma de México, 1989, pp. 116-144; van Fraassen, B., *La imagen científica*, México: Universidad Nacional Autónoma de México/Paidós, 1996.

Davidson, D., *De la verdad y de la interpretación. Fundamentales contribuciones a la filosofía del lenguaje*, Barcelona: Gedisa, 1990; Kripke, S., *El nombrar y la necesidad*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1985; Putnam, H., "El significado de 'significado'", *Cuadernos de Crítica* 28, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1984; Putnam, H., *Razón, verdad e historia*, Madrid: Tecnos, 1988.

Dentro de este período quisiéramos referirnos por último a otra corriente contemporánea en filosofía de la ciencia que muestra, tras el repliegue de los primeros efectos antiformalistas, que al menos parte de los nuevos elementos señalados durante el período historicista son susceptibles de un razonable análisis y reconstrucción formales. Asimiladas las contribuciones inquestionables de los historicistas y expurgados sus principales excesos, se recupera durante los años 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, que continuarían siendo las unidades básicas de esto que llamamos ciencia, ya que los experimentos y las operacionalizaciones instrumentales en la ciencia, por ejemplo, sólo tendrían sentido en cuanto forman parte de un contexto teórico.

En ese sentido, comenzando con el trabajo desarrollado por J.C.C. McKinsey, E. Beth y J. von Neumann en el período que va de los años treinta a los años cincuenta, a finales de los setenta y en los ochenta, se extiende y acaba imponiéndose en general una nueva caracterización de las teorías científicas que se ha denominado *concepción semántica o modelo-teórica de las teorías*. En realidad no se trata de una única concepción sino de una *familia* de ellas que comparten algunos elementos generales. A esta familia pertenecen los respectivos seguidores de los autores arriba mencionados, P. Suppes, B. van Fraassen y F. Suppe, además de R. Giere, en los Estados Unidos; M. Dalla Chiara y G. Toraldo di Francia, en Italia; M. Prze_ecki y R. Wójcicki, en Polonia; G. Ludwig, en Alemania; N.C.A. Da Costa, en Brasil; y la concepción estructuralista de las teorías, iniciada en los Estados Unidos por un estudiante de Suppes, J. Sneed, y desarrollada en Europa, principalmente en Alemania, por aquel que reintroduce la filosofía analítica en general y la filosofía de la ciencia en particular en los países de habla alemana y demás países de Europa Central luego de la Segunda Guerra Mundial, W. Stegmüller, y sus discípulos C.U. Moulines y W. Balzer.

Para una caracterización de la familia semanticista en general y de algunas de las concepciones semánticas en particular, especialmente la concepción estructuralista, ver: Díez, J.A. y P. Lorenzano, "La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX", en Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.), *Desa-*

rollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, 2002, pp. 13-78. Algunas de las obras representativas de esta última corriente disponibles en castellano son: Balzer, W., *Teorías empíricas: modelos, estructuras y ejemplos*, Madrid: Alianza, 1997; Da Costa, N.C.A., *El conocimiento científico*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2000; Giere, R.N., *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*, México: Conacyt, 1992; Moulines, C.U., *Exploraciones metacientíficas*, Madrid: Alianza, 1982; Moulines, C.U., *Pluralidad y recursión*, Madrid: Alianza, 1991; Stegmüller, W., *Estructura y dinámica de teorías*, Barcelona: Ariel, 1983; Stegmüller, W., *La concepción estructuralista de las teorías*, Madrid: Alianza, 1981; Suppes, P., *Estudios de filosofía y metodología de la ciencia*, Madrid: Alianza, 1988; van Fraassen, B., *La imagen científica*, México: Universidad Nacional Autónoma de México/Paidós, 1996.

Todos los miembros de esta familia comparten el “espíritu formalista” del período clásico aunque no la letra: la *virtud clásica de la claridad y precisión conceptuales* es un principio regulativo para ellos; sin embargo, consideran que la mejor manera de aproximarse a ese ideal consiste en *utilizar todos los instrumentos lógico-matemáticos que puedan contribuir* a alcanzar ese objetivo. No se limitan, entonces, al uso de la lógica de predicados de primer orden –el instrumento favorito durante el período clásico– sino que hacen un creciente uso de conceptos, métodos y resultados lógicos y matemáticos, de la teoría de conjuntos y de modelos, de la topología y de la teoría de categorías, entre otras. Por otro lado, son conscientes de los numerosos aspectos filosóficamente esenciales en la ciencia que se resisten a ser tratados de manera puramente formal, ya sea porque no disponemos al menos al presente de las herramientas apropiadas para la tarea o porque nos topamos con la presencia de elementos *irreductiblemente pragmáticos e históricamente relativos*, como los que habían sido señalados durante el período historicista.

Este doble proceder, que por un lado utiliza el máximo de recursos lógico-matemáticos para analizar la estructura de la ciencia y por el otro no niega los aspectos que no se dejan formalizar completamente, pero que se sostiene que pueden ser tratados por un análisis conceptual riguroso, esta “doble estrategia” –que pretende recuperar lo mejor de cada uno de los períodos precedentes– constituye una de las características fundamentales de este período. Así, la concepción semántica nos enseña que además de los estudios *sincrónicos* en la filosofía de la ciencia, hay lugar para un enfoque *diacrónico* sistemático, superando así el estéril antagonismo entre las metateorías centradas en el análisis de la estructura de las teorías científicas y las de corte historicista, del tipo de las de Kuhn o Lakatos.

Esto se ve de modo muy claro en el *tratamiento* que la concepción semántica hace de *las teorías* científicas. Para ella, y a diferencia de lo sostenido por la concepción heredada y en consonancia con la crítica realizada por los nuevos filósofos, una teoría empírica *no es una entidad lingüística*; más concretamente *no es sólo un conjunto de enunciados axiomáticos o una conjunción de ellos*. Antes bien, se considera que el componente más básico para la identidad de una teoría es una clase de estructuras, y más específicamente una *clase de modelos* en el sentido de Tarski (aun cuando los distintos miembros de la familia semanticista difieran a la hora de propo-

ner el modo más adecuado de capturar dicha clase). Asimismo, se reconoce que las teorías empíricas no son entidades aisladas sino que a la identidad de cada teoría le resultan también esenciales sus relaciones con otras teorías; en consecuencia, se proponen conceptos que posibilitan el análisis de tales relaciones o vínculos interteóricos. Por otro lado, al aceptar en la investigación filosófica de las teorías científicas no sólo conceptos sintácticos y semánticos, e.e. modelo-teóricos, sino también conceptos pragmáticos, la concepción semántica se encuentra en posición de recoger y expresar de modo preciso los nuevos elementos sobre los que llamaron la atención los historicistas. Más especialmente, con ayuda de los conceptos de distinto tipo mencionados, la concepción semántica está en condiciones de representar los aspectos “diacrónicos” de la ciencia o de cambio de teorías, en general, así como también de precisar nociones tales como “ciencia normal”, “paradigma”, “anomalía” y “revolución científica” de Kuhn o “programa de investigación” de Lakatos.

Los aportes de la concepción semántica no se restringen, empero, a la filosofía general de la ciencia. A fin de poder construir una *metateoría sólida* y no especulativa, la familia semanticista ha aplicado sus conceptos al análisis de las más diversas prácticas y teorizaciones de las ciencias empíricas (y aun de las formales), desde la física hasta la teoría literaria, pasando por la química, la biología, la economía, la psicología y la sociología.

De este modo, trataría de mostrar que los conceptos metacientíficos por ella utilizados no sólo son formalmente precisos sino también empíricamente adecuados.

El Círculo de Viena

A partir de 1924, Moritz Schlick, el sucesor de Mach* en la cátedra de “Filosofía de las Ciencias Inductivas” de la Universidad de Viena, organizó un círculo de discusión que se reunía regularmente los jueves por la tarde, primero en una vivienda privada y luego en la casa que se encontraba detrás del Instituto de Matemáticas, para discutir temas pertenecientes a la filosofía de la ciencia, mediante la presentación de ponencias y su posterior discusión o el análisis conjunto de textos (ya fueran libros o artículos) que versaran sobre tales temas. A las reuniones del entonces llamado “círculo de Schlick” no sólo asistían algunos alumnos de este último (como Béla Juhos, Josef Schächter, Rose Rand, Herbert Feigl y Friedrich Waismann) sino también matemáticos, físicos, abogados, historiadores, ingenieros, economistas (dentro de los que se encontraban Otto Neurath, Rudolf Carnap, Hans Hahn, Philipp Frank, Karl Menger, Kurt Gödel, Olga Hahn-Neurath, Felix Kaufmann, Victor Kraft, Gustav Bergmann, Richard von Mises, Kurt Reidemeister y Edgar Zilsel), algunos de los cuales (Neurath, Hahn, von Mises, Hahn-Neurath y Frank) ya se habían encontrado regularmente con la misma finalidad desde 1907 hasta 1914, en lo después que se denominaría “primer Círculo de Viena” o “Círculo de Viena primitivo”. En sus concepciones podemos encontrar las siguientes influencias principales: el positivismo crítico alemán de fines del siglo XIX (Ernst Mach, Hermann von Helmholtz y Richard Avenarius), el convencionalismo francés (Henri Poincaré** y Pierre Duhem), la epistemología italiana (Giuseppe Peano*** y Federico Enriques), la ya mencionada nueva lógica (Gottlob Frege, Bertrand Russell****) y el por ella fecundado análisis lógico del lenguaje (Gottlob Frege, Bertrand Russell y Ludwig Wittgenstein).

La existencia del grupo en torno de Schlick se hace pública a partir de 1929, con la aparición del manifiesto “La concepción científica del mundo. El Círculo

► Algunas aplicaciones disponibles en castellano, pueden encontrarse en: Balzer, W., *Teorías empíricas: modelos, estructuras y ejemplos*, Madrid: Alianza, 1997; Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, 2002.

Asociación Ernst Mach, “La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena”, *Redes. Revista de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología* 18 (2002): 103-149.



de Viena” (“Wissenschaftliche Weltauffassung. Der Wiener Kreis”), de donde además tomaría el nombre con el cual ingresaría a la historia de la filosofía en general y a la de la filosofía de la ciencia en particular: Círculo de Viena.

Este escrito programático, firmado por Carnap, Neurath y Hahn, como miembros de la “Asociación Ernst Mach”, que había sido fundada un poco antes (en 1928) a iniciativa de la *Unión de librepensadores de Austria* conjuntamente con miembros de otros círculos cercanos, con la intención de “difundir los conocimientos de las ciencias exactas”, es presentado en el “Primer Encuentro Internacional sobre la Teoría del Conocimiento de las Ciencias Exactas”, realizado en Praga. A partir de allí las actividades públicas, a nivel nacional e internacional, de los miembros del Círculo de Viena se vieron multiplicadas en diversas direcciones, aunque con especial énfasis en dos aspectos: la organización de encuentros y congresos y la publicación y difusión de trabajos sobre filosofía de la ciencia. En relación con el primero de los aspectos, en 1930 se realiza en Göttingen el “Segundo Encuentro Internacional sobre la Teoría del Conocimiento de las Ciencias Exactas”, en 1934, la “Preconferencia de Praga al Congreso Internacional para la Unidad de la Ciencia”, y en 1935, en París, el “Primer Congreso Internacional para la Unidad de la Ciencia”, al que le seguirán el Segundo, en Copenhagen (1936), el Tercero, en París (1937), el Cuarto, en Cambridge (Inglaterra, 1938), el Quinto, en Harvard (Estados Unidos, 1939), y el Sexto, en Chicago (Estados Unidos, 1941). En cuanto a la labor editorial del Círculo de Viena, cabe mencionar la publicación de la primera revista especializada en filosofía de la ciencia (*Erkenntnis* [Conocimiento], editada conjuntamente con la *Sociedad de filosofía empírica* de Berlín, bajo la dirección de Rudolf Carnap y Hans Reichenbach, Leipzig: Felix Meiner, 1930-1940, 8 volúmenes), de dos colecciones de textos (*Escritos sobre la concepción científica del mundo*, editados por Philipp Frank y Moritz Schlick, Viena: Springer, 1928-1937, 11 tomos; *Ciencia unificada*, editada por Otto Neurath en vinculación con Rudolf Carnap, Philipp Frank y Hans Hahn, Viena: Geroldt, 1933-1935, La Haya: Van Stockuma & Zoon, 1937-1938, 8 cuadernos y dos libros) y del ambicioso proyecto de una *Enciclopedia Internacional de la Ciencia Unificada* (editada por O. Neurath, R. Carnap y Ch. Morris, Chicago: The University of Chicago Press, 1938-1962, dos volúmenes, bajo el nombre común de *Fundamentos de la unidad de la ciencia*). En su labor continuadora de la gran tradición de la Ilustración francesa y opositora a las corrientes irracionistas y retrógradas de nuestro siglo, así como en sus intentos de desarrollar una filosofía de la ciencia lo más precisa posible, mediante la aplicación al análisis de la ciencia de la “nueva lógica” (también llamada “lógica matemática”, “formal”, “clásica” o “logística” y sistematizada en los *Principia Mathematica* de Bertrand Russell y Alfred North Whitehead), el Círculo de Viena no se encontraba solo, sino que mantenía relaciones con individuos y grupos afines, algunos de ellos artísticos, de Viena, Praga, Alemania, Polonia, los países escandinavos, Italia, Francia, Inglaterra, Estados Unidos y aun China. Entre sus interlocutores se contaron, entre otros, Johann von Neumann, Werner Heisenberg, Karl Popper, Ludwig Wittgenstein, Josef Popper-Lynkeus, Albert Einstein, Heinrich Gomperz, Paul Oppenheim, Ludwig von Bertalanffy, Egon Brunswik, Karl Bühler, Wilhelm Reich, Paul Lazarsfeld, Hans Kelsen, Paul Hertz, Else Frenkel-Brunswik, Max Adler, Hans Reichenbach, Carl Gustav Hempel, Walter Dubislav, Kurt Grelling, Robert Musil, el grupo Bauhaus, Kazimierz Ajdukiewicz, Alfred Tarski, Tadeusz Kotarbiński, Jan Łukasiewicz, Stanisław Leśniewski, Ludwik Fleck, Jørgen Jørgensen, Niels Bohr, Eino Kaila, Arne Næss, Ludovico Geymonat, Abel Rey, Louis Rougier, Alfred J. Ayer, Frank Ramsey, Bertrand Russell, L. Susan Stebbing, Joseph H. Woodger, Willard V. Quine, Charles Morris y Tscha Hung. Luego del ascenso del nazismo en Alemania y de la anexión (“Anschluß”) de Austria por parte de ésta, algunos de los miembros y simpatizantes del Círculo de Viena empezaron a tener dificultades laborales, ya sea por sus posiciones filosóficas, políticas o por su origen ju-

dío, o a ser directamente perseguidos y sus obras prohibidas y aun quemadas. En 1936 Moritz Schlick es asesinado en las escaleras de la Universidad de Viena por un antiguo estudiante, debido a motivos personales y políticos; el asesino es liberado prematuramente por los nazis, viviendo a partir de 1945 como ciudadano austríaco libre. Con el asesinato de Schlick el Círculo de Viena fue finalmente destruido como grupo, aun cuando continuaría existiendo en los papeles y sin la presencia de antaño hasta 1938. Sus integrantes y muchos de aquellos con los que se encontraban relacionados se ven forzados a exiliarse, para continuar viviendo y, eventualmente, trabajando en el desarrollo de la filosofía de la ciencia. El movimiento filosófico iniciado por el Círculo de Viena que, a pesar de la multiplicidad de aspectos, las diferencias y la variedad de matices, recibió primero el nombre unitario de *positivismo lógico* o *neopositivismo* y a partir de comienzos de los años treinta el de *neoempirismo* o *empirismo lógico*, fue continuado en otro contexto político y social, fundamentalmente en los Estados Unidos, por los emigrados europeos, dando lugar a lo que entre 1940 y 1960 constituiría la filosofía de la ciencia hegemónica en los países anglosajones, la denominada *concepción heredada*.

* Mach, E., *Análisis de las sensaciones*, Barcelona: Alta Fulla, 1987; *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1959; Avenarius, R., *La filosofía como el pensar del mundo de acuerdo con el principio del menor gasto de energía*, Buenos Aires: Losada, 1947.

** Poincaré, H., *La ciencia y la hipótesis*, Buenos Aires: Espasa-Calpe, ; Poincaré, H., *Ciencia y método*, Buenos Aires: Espasa-Calpe,; Poincaré, H., *El valor de la ciencia*, Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1946; Poincaré, H., *Últimos pensamientos*, Buenos Aires: Espasa-Calpe, ; Duhem, P., "El experimento en física", *Cuadernos de Epistemología* 21, Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, 1965; Duhem, P., "La ley física", *Cuadernos de Epistemología* 22, Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, 1965; Duhem, P., *La teoría física. Su objeto y su estructura*, Barcelona: Herder, 2003.

*** Peano, J., *Los principios de la aritmética expuestos según un nuevo método*, Oviedo: Pentalfa Ediciones, 1979; Enriques, F., *Problemas de la ciencia*, Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1947; Enriques, F., *Problemas de la lógica*, Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1947; Enriques, F., *Para la historia de la lógica*, Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1948.

**** Russell, B. y A.N. Whitehead, *Principia Mathematica*, Cambridge: Cambridge University Press, 3 vols., 1913; Russell, B., *Lógica y conocimiento*, Madrid: Taurus, 1966; Frege, G., *Conceptografía. Los fundamentos de la aritmética. Otros estudios filosóficos*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1972; Frege, G., *Estudios sobre semántica*, Barcelona: Ariel, 1973; Wittgenstein, L., *Tractatus Logico-Philosophicus*, Madrid: Alianza, 1973.



CARNAP, R., "Sobre la elucidación", *Cuadernos de epistemología*, nº 20, Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, 1960.

DÍEZ, J.A. y C.U. MOULINES, *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona: Ariel, 1997, cap. 1.

ECHEVERRÍA, J., *Filosofía de la ciencia*, Madrid: Akal, 1995, cap. II.

MOULINES, C.U., *Pluralidad y recursión*, Madrid: Alianza, 1991, Parte I.

 Ayer, A.J. (ed.), *El positivismo lógico*, México: Fondo de Cultura Económica, 1965.

- ▶  **1.** Identifique en distintos elementos de su vida cotidiana (tales como periódicos, revistas, declaraciones radiofónicas o televisivas) tres referencias a la ciencia o a prácticas u objetos denominados “científicos” y analice qué es lo que se entiende por ello en cada contexto, determinando sus diferencias, en caso de haberlas.

- ▶  **2.** ¿Qué otras formas de conocimiento conoce, además del llamado “conocimiento científico”? ¿Cuáles son las características que se le atribuyen a la ciencia, cuando se afirma que “ésta constituye la más elevada forma de conocimiento”?

- ▶  **3.** ¿En qué consiste la “concepción clásica o tripartita del conocimiento”? Discuta en qué medida considera que la ciencia (u otras formas de conocimiento) se ajustan a ella.

-  ¿Qué relación guardan las distintas formas de conocimiento con el conocimiento científico? ¿Existe una ruptura o una continuidad entre los distintos tipos de conocimiento?

-  ¿Por qué le parece que la ciencia es tenida en alta estima en nuestros tiempos?

- ▶  **4.** Compare un artículo de una revista científica especializada, la introducción de un libro de texto científico y la introducción de un libro de comunicación pública de la ciencia (o “divulgación científica”) o un artículo periodístico del mismo tipo, en relación con las características que implícita o explícitamente le atribuyen a la ciencia y con la imagen que nos proporcionan de ella.

- ▶  **5.** Discuta en un artículo periodístico de comunicación pública de la ciencia (o “divulgación científica”) cuál fue el o los distintos enfoques sobre la ciencia utilizados preponderantemente en su elaboración. Señale si el acento está puesto más en la ciencia como actividad que como producto, si le parece que el enfoque filosófico tendría que haberse tomado en cuenta, en caso de no haberlo sido, y cuál de las ramas de la filosofía de la ciencia habrían sido consideradas pertinentes. Discuta, además, si habría resultado un caso de filosofía general o especial de la ciencia y si el análisis tendría que haberse movido en un nivel sincrónico o más bien en uno diacrónico.

Referencias bibliográficas

- Ackermann, R.J. (1985), *Data, Instruments, and Theory*, Princeton: Princeton University Press.
- Asociación Ernst Mach (2002), “La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena”, 1ª edición 1929, *Redes. Revista de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología* 18, pp. 103-149.
- Avenarius, R. (1947), *La filosofía como el pensar del mundo de acuerdo con el principio del menor gasto de energía*, 1ª edición 1876, Buenos Aires: Losada.
- Ayer, A.J. (ed.) (1965), *El positivismo lógico*, 1ª edición 1959, México: Fondo de Cultura Económica.
- Balzer, W. (1997), *Teorías empíricas: modelos, estructuras y ejemplos*, 1ª edición 1982, Madrid: Alianza.
- Balzer, W., Moulines, C.U. y J.D. Sneed (1987), *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Dordrecht: Reidel.
- Boyd, R. (1984), “The Current Status of the Issue of Scientific Realism”, en: Leplin, J. (ed.) (1984), *Scientific Realism*, Berkeley/Los Angeles: University of California Press, pp. 41-82.
- Bunge, M. (1980), *Epistemología*, Barcelona: Ariel.
- Carnap, R. (1960), “Sobre la elucidación”, 1ª edición 1950, *Cuadernos de epistemología*, nº 20, Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras.
- Carnap, R. (1969), *Fundamentación lógica de la física*, 1ª edición 1966, Buenos Aires: Sudamericana.
- Carnap, R. (1992), *Autobiografía intelectual*, 1ª edición 1963, Barcelona, Paidós.
- Churchland, P. (1988), *Computational Philosophy of Science*, Cambridge: MIT Press/Bradford Books.
- Churchland, P.M. (1989), *A Neurocomputational Perspective*, Cambridge: MIT Press.
- Da Costa, N.C.A. (2000), *El conocimiento científico*, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Davidson, D. (1990), *De la verdad y de la interpretación. Fundamentales contribuciones a la filosofía del lenguaje*, 1ª edición 1984, Barcelona: Gedisa.
- Díez, J.A. y P. Lorenzano (2002), “La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX”, en: Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.) (2002), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, pp. 13-78.
- Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.) (2002), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili.
- Díez, J.A. y C.U. Moulines (1997), *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona: Ariel.

- Duhem, P. (2003), *La teoría física. Su objeto y su estructura*, 1ª edición 1906, Barcelona: Herder.
- Echeverría, J. (1995), *Filosofía de la ciencia*, Madrid: Akal.
- Enriques, F. (1947), *Problemas de la ciencia*, Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- Enriques, F. (1947), *Problemas de la lógica*, Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- Enriques, F. (1948), *Para la historia de la lógica*, Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1948.
- Feyerabend, P.K. (1981), *Tratado contra el método*, 1ª edición 1975, Madrid: Tecnos.
- Feyerabend, P.K. (1981), *Realism, Rationalism, and Scientific Method*, New York: Cambridge University Press.
- Frege, G. (1972), *Conceptografía. Los fundamentos de la aritmética. Otros estudios filosóficos*, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Frege, G. (1973), *Estudios sobre semántica*, Barcelona: Ariel.
- Giere, R.N. (1992), *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*, 1ª edición 1988, México: Conacyt.
- Hacking, I. (1996), *Representar e intervenir*, 1ª edición 1983, México: Paidós/Universidad Nacional Autónoma de México.
- Haller, R. (1993), *Neopositivismus. Eine historische Einführung in die Philosophie des Wiener Kreises*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Hanson, N.R. (1977), *Patrones de descubrimiento. Observación y explicación*, 1ª edición 1971, Madrid: Alianza.
- Helmholtz, H.v. (1998), *Schriften zur Erkenntnistheorie*, 1ª edición 1921, Wien/New York: Springer.
- Hempel, C.G. (1979), *La explicación científica*, 1ª edición 1965, Buenos Aires: Paidós.
- Kitcher, P. (2001), *El avance de la ciencia*, 1ª edición 1993, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Klimovsky, G. (1994), *Las desventuras del conocimiento científico*, Buenos Aires: A-Z editora.
- Kripke, S. (1985), *El nombrar y la necesidad*, 1ª edición 1981, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kuhn, T.S. (1971), *La estructura de las revoluciones científicas*, 1ª edición 1962, México: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1975), "La falsación y la metodología de los programas de investigación científica", 1ª edición 1970, en: Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.) (1975), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, pp. 203-343.
- Lamo de Espinosa, E., González García, J.M. y C. Torres Alberó (1994), *La sociología del conocimiento y de la ciencia*, Madrid: Alianza.
- Laudan, L. (1986), *El progreso y sus problemas*, 1ª edición 1977, Madrid: Ediciones Encuentro.
- Echeverría, J. (1995), *Filosofía de la ciencia*, Madrid: Akal.
- Mach, E. (1959), *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, 1ª edición 1883, Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- Mach, E. (1987), *Análisis de las sensaciones*, 1ª edición 1885, Barcelona: Alta Fulla.
- Marcos, A. (2000), *Hacia una filosofía de la ciencia amplia*, Madrid: Tecnos.
- Martínez, S.F. y L. Olivé (eds.) (1997), *Epistemología evolucionista*, México: Paidós/Universidad Nacional Autónoma de México.

- Maxwell, G. (1989), "El estatus ontológico de las entidades teóricas", 1ª edición 1962, en: Olivé, L. y A.R. Pérez Ransanz (eds.), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, México: Siglo XXI-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 116-144.
- Mosterín, J. (1984), *Conceptos y teorías en la ciencia*, Madrid: Alianza.
- Moulines, C.U. (1982), *Exploraciones metacientíficas*, Madrid: Alianza.
- Moulines, C.U. (1987), "Le rôle de Wolfgang Stegmüller dans l'épistémologie allemande contemporaine", *Archives de Philosophie* 50, pp. 3-22.
- Moulines, C.U. (1991), *Pluralidad y recursión*, Madrid: Alianza.
- Nagel, E. (1968), *La estructura de la ciencia*, 1ª edición 1961, Buenos Aires: Paidós.
- Newton, I. (1982), *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*, 1ª edición 1687, Madrid: Editora Nacional.
- Peano, J. (1979), *Los principios de la aritmética expuestos según un nuevo método*, 1ª edición 1889, Oviedo: Pentalfa Ediciones.
- Poincaré, H. (1944), *La ciencia y la hipótesis*, 1ª edición 1902, Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- Poincaré, H. (1946), *El valor de la ciencia*, 1ª edición 1905, Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- Poincaré, H. (1944), *Ciencia y método*, 1ª edición 1908, Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- Poincaré, H. (1946), *Últimos pensamientos*, 1ª edición 1913, Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- Popper, K. (1962), *La lógica de la investigación científica*, 1ª edición 1935, Madrid: Tecnos.
- Popper, K. (1977), *Búsqueda sin término*, 1ª edición 1974, Madrid: Tecnos.
- Putnam, H. (1984), "El significado de 'significado'", 1ª edición 1981, *Cuadernos de Crítica* 28, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Putnam, H. (1988), *Razón, verdad e historia*, 1ª edición 1975, Madrid: Tecnos.
- Quine, W.V.O. (1974), "Naturalización de la epistemología", en: *La relatividad ontológica y otros ensayos*, 1ª edición 1969, Madrid: Tecnos, pp. 93-119.
- Reichenbach, H. (1938), *Experience and Prediction*, Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Russell, B. (1966), *Lógica y conocimiento*, 1ª edición 1956, Madrid: Taurus.
- Russell, B. y A.N. Whitehead (1913), *Principia Mathematica*, Cambridge: Cambridge University Press, 3 vols.
- Saussure, F. de (1980), *Curso de lingüística general*, 1ª edición 1916, Madrid: Akal.
- Sellars, R.W. (1932), *The Philosophy of Physical Realism*, New York: The Macmillan Company.
- Smart, J.J.C. (1963), *Philosophy and Scientific Realism*, Rotledge & Kegan Paul.
- Sneed, J.D. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht: Reidel, 2ª edición revisada, 1979.
- Stadler, F. (1997), *Studien zum Wiener Kreis. Ursprung, Entwicklung und Wirkung des Logischen Empirismus im Kontext*, Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Stegmüller, W. (1983), *Estructura y dinámica de teorías*, 1ª edición 1973, Barcelona: Ariel.

- Stegmüller, W. (1981), *La concepción estructuralista de las teorías*, 1ª edición 1979, Madrid: Alianza.
- Suppe, F. (1989), *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, Urbana: University of Illinois Press.
- Suppes, P. (1988), *Estudios de filosofía y metodología de la ciencia*, Madrid: Alianza.
- Thagard, P.(1992), *Conceptual Revolutions*, Princeton: Princeton University Press.
- Toulmin, S. (1977), *La comprensión humana*, 1ª edición 1972, Madrid: Alianza.
- van Fraassen, B. (1996), *La imagen científica*, 1ª edición 1980, México: Universidad Nacional Autónoma de México/Paidós.
- Wittgenstein, L. (1973), *Tractatus Logico-Philosophicus*, 1ª edición 1921, Madrid: Alianza.

Conceptos e hipótesis científicas

Objetivos

1. Que el alumnado comprenda los distintos tipos de conceptos utilizados en la ciencia.
2. Que el alumnado identifique los aspectos metodológicos de la contrastación de hipótesis científicas.
3. Que el alumnado identifique los aspectos valorativos de la contrastación de hipótesis científicas.

2.1. El lenguaje de la ciencia

Para poder llevar a cabo sus actividades, así como también para plasmar sus resultados, los científicos se sirven, entre otras cosas, del *lenguaje*. El *vocabulario* del lenguaje utilizado por los científicos pertenecientes a las ciencias empíricas consta por lo general de tres partes: 1) las palabras o términos de algún lenguaje natural (por ejemplo, el castellano); 2) un arsenal estándar de expresiones o términos provenientes de las ciencias formales (lógica y matemáticas); y 3) un conjunto, por lo general pequeño, de expresiones o términos técnicos, que sólo adquieren un significado propio en el contexto de las teorizaciones científicas empíricas particulares. Debido a que no es tarea específica de la filosofía de la ciencia el estudio de los lenguajes naturales en general, no nos detendremos mayormente en ellos.

En cuanto a las expresiones pertenecientes a las ciencias formales, éstas incluyen expresiones provenientes de la lógica –tales como variables para objetos de diversos tipos, conectivas, cuantificadores, reglas para la construcción de términos y enunciados a partir de elementos simples– y de las matemáticas (teoría de conjuntos incluida) –tales como conjuntos de números y expresiones para espacios, relaciones, funciones y términos matemáticos–. La lógica y las matemáticas constituyen algo así como un trasfondo general supradisciplinario, presupuesto –en mayor o menor medida– por los científicos de todas las ciencias empíricas. Las ciencias formales, sin embargo, no constituyen el objeto de nuestro estudio.

De este modo, quedan por comentar los términos técnicos del lenguaje de la ciencia. Éstos constituyen un objeto de análisis primordial de la filosofía de las ciencias empíricas. En esta unidad trataremos, en primer lugar, algunos de sus aspectos más generales. Sin embargo, para avanzar en dicho análisis será de utilidad centrarnos no en las palabras, o en general, las expresiones mismas de un lenguaje dado, sino en los conceptos por ellas expresados (o, como también se dice, “denotados”).

Sobre filosofía del lenguaje, puede consultarse: Blasco, J.L., Grimaltos, T. y D. Sánchez, *Signo y pensamiento*, Barcelona: Ariel, 1999; Hacking, I., *¿Por qué el lenguaje importa a la filosofía?*, Buenos Aires: Sudamericana, 1975; Hierro S. Pescador, J., *Principios de filosofía del lenguaje*, Madrid: Alianza, 1986; Von Kutschera, F.v., *Filosofía del lenguaje*, Madrid: Gredos, 1979; García-Carpintero, M., *Las palabras, las ideas y las cosas*, Barcelona: Ariel, 1996; Simpson, T.M., *Formas lógicas, realidad y significado*, Buenos Aires: Eudeba, 1964.

Sobre lógica y teoría de conjuntos, puede consultarse: Badesa, C., Jané, I. y R. Jansana, *Elementos de lógica formal*, Barcelona: Ariel, 1998; Copi, I., *Introducción a la lógica*, Buenos Aires: Eudeba, 1981; Copi, I. y C. Cohen, *Introducción a la lógica*, México: Limusa, 1995; Díez, J.A., *Iniciación a la lógica*, Barcelona: Ariel, 2002; Falguerra, J.L. y C. Martínez, *Lógica clásica de primer orden*, Madrid: Trotta, 1999; Gamut, L.T.F., *Lógica*, Buenos Aires: Eudeba, 2002; Suppes, P., *Introducción a la lógica simbólica*, México: CECSA, 1966; Tugendhat, E. y U. Wolf, *Propedéutica lógico-semántica*, Barcelona: Anthropos, 1997.

2.2. Conceptos científicos

Kant, I., *Crítica de la razón pura*, Madrid: Alfa-guara, 1978 (1ª edición 1781, 2ª edición 1787).

Sobre conceptos, puede verse: Frege, G., “Función y concepto”, en Frege, G., *Estudios sobre semántica*, Barcelona: Ariel, 1973, pp. 18-48; Frege, G., “Sobre concepto y objeto”, en Frege, G., *Estudios sobre semántica*, Barcelona: Ariel, 1973, pp. 105-125; Weitz, M., *The Opening Mind*, Chicago: The University of Chicago Press, 1977; Weitz, M., *Theories of Concepts: A History of the Major Philosophical Tradition*, London: Routledge, 1988.

Stegmüller, W., “El problema de los universales, antes y ahora”, en *Creer, saber, conocer y otros ensayos*, Buenos Aires: Alfa, 1978, pp. 53-141.

Siguiendo con una convención clásica en lógica y filosofía del lenguaje y de la ciencia, entrecomillaremos los términos que expresan los conceptos.

Haciéndonos eco de la filosofía de Kant, podríamos decir que el conocimiento no depende sólo del mundo, sino también de nuestro *aparato sensorial* y del *sistema conceptual*.

Por un lado, nuestro aparato sensorial procesa y selecciona el cúmulo de estímulos recibidos. Nuestra percepción del mundo está así condicionada por nuestro aparato sensorial, que determina las pautas en las que ésta es posible. De hecho, si nuestro aparato sensorial fuera distinto del que tenemos, percibiríamos el mundo de distinto modo.

Por otro lado, y de manera similar, nuestro sistema conceptual selecciona y determina los aspectos del mundo que tenemos en cuenta, en los que pensamos y de los que hablamos. De allí que lo que pensemos y digamos del mundo no depende sólo de él, sino también de nuestro sistema conceptual. Los conceptos nos permiten identificar, comparar, diferenciar, relacionar, etc., los objetos de nuestra experiencia. Y cuanto más articulado y complejo sea nuestro sistema conceptual, tanto más articulado y eficaz será también nuestro conocimiento.

Pero aun cuando en la actualidad exista un acuerdo bastante amplio –aunque no total– en el señalamiento kantiano del papel fundamental que juegan los conceptos en toda forma de conocimiento –el científico incluido–, en donde no lo hay es en *qué cosas son los conceptos*. De hecho, éste es uno de los temas más difíciles de la filosofía, que ha sido muy discutido –al menos desde los tiempos de Platón, y por lo general en relación con el llamado *problema de los universales*– y continúa discutiéndose, con el aporte de otras disciplinas, como la lingüística y la psicología. La variedad de teorías sobre conceptos es sorprendente, incluidas aquellas posiciones que lisa y llanamente *niegan* la existencia de los conceptos.

Aquí, sin embargo, no expondremos las distintas teorías ni intentaremos terciar en la discusión entre ellas, sino que sencillamente asumiremos que *hay conceptos*, y que siendo *distintos* de las *palabras* y las *cosas* a las que ellas designan o refieren, se relacionan estrechamente tanto con unas como con otras: mientras que –como ya se señaló anteriormente– las palabras *expresan* o denotan conceptos, los objetos *caen bajo*, o *son subsumidos por*, conceptos o, como también se dice, de manera inversa, los conceptos se *aplican* a objetos. Así decimos que la palabra “gato” expresa el concepto gato –pero también lo hacen las palabras “cat”, “chat” y “Katze”, del inglés, francés y alemán, respectivamente–, y que Félix, Fritz y Garfield caen bajo, o son subsumidos por, el concepto gato (o, alternativamente, que el concepto gato se aplica tanto a Félix y a Fritz como a Garfield). También diremos que la *extensión* de un concepto es el conjunto de objetos que caen bajo él, y que, de este modo, el concepto *determina* dicho conjunto. La extensión del concepto gato es así el conjunto formado por todos los gatos (conjunto al que pertenecen los mencionados Félix, Fritz y Garfield, aunque naturalmente no sólo ellos).

2.2.1. Tipología de conceptos

Tanto en la ciencia como en la vida cotidiana podemos distinguir tres tipos de formas conceptuales que articulan el conocimiento:

- conceptos *clasificatorios* (o cualitativos),
- conceptos *comparativos* (o topológicos),
- conceptos *métricos* (o cuantitativos).

Sobre tipología de conceptos científicos, puede verse: Carnap, R., *Fundamentación lógica de la física*, Buenos Aires: Sudamericana, 1969, caps. V-XII; Díez, J.A. y C.U. Moulines, *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona: Ariel, 1997, caps. 4 y 6; Hempel, C.G., *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*, Madrid: Alianza, 1988, parte III; Hempel, C.G., “Fundamentos de la taxonomía”, en *La explicación científica*, Buenos Aires: Paidós, 1979, 141-158; Mosterín, J., 1984, *Conceptos y teorías en la ciencia*, Madrid: Alianza, 2ª ed. 1987, caps. 1 y 2; Stegmüller, W., *Teoría y experiencia*, Barcelona: Ariel, 1979, cap. I.

Conceptos clasificatorios (o cualitativos)

La forma conceptual más simple la constituyen los conceptos *clasificatorios*, llamados también conceptos *cualitativos*. Los conceptos clasificatorios son los que nos resultan más familiares, además de ser los que primero se aprenden. Clasificar es la manera más simple y directa de subsumir objetos múltiples y diversos bajo un mismo concepto. Un concepto clasificatorio es sencillamente un concepto que *ubica un objeto dentro de una cierta clase*. Ejemplos de conceptos clasificatorios son *hombre, mujer, rojo, azul, perro, gato, casa, árbol, frío, caliente, cuchara, tenedor*.

Los términos que expresan conceptos clasificatorios son, desde el punto de vista de su *forma lógica*, muy simples: son *predicados monádicos*.

Mientras que, desde el punto de vista de la *teoría de conjuntos*, la extensión de un concepto clasificatorio es un *conjunto simple*, sin estructura interna.

En la ciencia no se acostumbra introducir los conceptos clasificatorios de manera aislada, sino en conjuntos o sistemas de conceptos llamados *clasificaciones*. Una clasificación de cierto ámbito o dominio de objetos consiste en la agrupación de los objetos de ese dominio en grupos, clases o conjuntos, de acuerdo con ciertos criterios sistemáticos, de forma tal que ninguno de dichos conjuntos sea vacío, que ningún objeto del dominio pertenezca a más de un conjunto y que todo objeto del dominio pertenezca a algún conjunto. Una clasificación de un dominio es en términos conjuntistas lo que se denomina una *partición* de ese dominio, ya que una partición del conjunto D es un conjunto de subconjuntos de D tales que: a) ningún subconjunto es vacío; b) ningún individuo está en dos subconjuntos distintos; y c) todo individuo está en algún subconjunto.

Si tomamos en cuenta la relación que guardan los conceptos clasificatorios con los conjuntos por ellos determinados, la situación es la siguiente: los grupos, clases o conjuntos en los que, con arreglo a ciertos criterios sistemáticos, se agrupan los objetos del dominio considerado son las extensiones de los conceptos que aparecen en la clasificación, y ésta se realiza de manera tal que cada concepto clasificatorio subsume al menos un objeto del dominio, que ningún objeto cae bajo más de un concepto clasificatorio y que todo los objetos del dominio en cuestión caen bajo alguno de los conceptos de la clasificación.

De lo anteriormente dicho, podemos extraer las llamadas *condiciones de adecuación* de los conceptos clasificatorios, condiciones que éstos deben

► Un predicado es monádico cuando expresa una propiedad, e.e. cuando tiene lugar para un argumento.

► Mientras que la condición a) establece la *no-vacuidad* de los (sub)conjuntos de la partición, la condición b) establece su *mutua exclusión* y la condición c) su *exhaustividad*.

cumplir para que las *clasificaciones* en las que ellos aparecen puedan ser consideradas *satisfactorias*. Diremos que un concepto C es un concepto *clasificatorio* para el dominio de objetos D si y sólo si pertenece a un sistema de conceptos $\{C_1, \dots, C_n\}$, con $n \geq 2$, que cumple las dos siguientes condiciones:

- Los objetos del dominio D se subsumen bajo cada C_i ($1 \leq i \leq n$) de acuerdo con ciertos criterios sistemáticos.
- Las extensiones de cada C_i ($1 \leq i \leq n$) constituyen, tomadas en su conjunto, una partición del dominio de objetos D .

Un ejemplo que se acostumbra citar de una clasificación que difícilmente pueda ser considerada como satisfactoria, ya que viola las dos condiciones de adecuación arriba formuladas, nos lo proporciona la “enciclopedia china”, *Emporio celestial de conocimientos benévolos*, de la que nos habla Borges en su cuento “El idioma analítico de John Wilkins”, según la cual “los animales se dividen en (a) pertenecientes al Emperador, (b) embalsamados, (c) amaestrados, (d) lechones, (e) sirenas, (f) fabulosos, (g) perros sueltos, (h) incluidos en esta clasificación, (i) que se agitan como locos, (j) innumerables, (k) dibujados con un pincel finísimo de pelo de camello, (l) etcétera, (m) que acaban de romper el jarrón, (n) que de lejos parecen moscas” (*Otras inquisiciones*, 1952, p. 142).

En primer término, es muy difícil encontrar en el ejemplo anterior algún criterio sistemático que se haya utilizado a lo largo de toda la clasificación para establecerla. De este modo, la clasificación propuesta viola la primera de las condiciones arriba mencionadas, a saber: la *de sistematicidad*. En segundo lugar, el modo en que son agrupados los animales en esta clasificación permite que haya conjuntos vacíos (el de las *sirenas* y el de los animales *fabulosos*), que haya animales que pertenezcan a más de un conjunto (los *pertenecientes al Emperador* y los *amaestrados*, por ejemplo, o, en el caso extremo, todos los mencionados en la clasificación y los *incluidos en esta clasificación*) y que haya animales que no pertenezcan a ningún conjunto (de hecho, la mayoría de los animales). Se viola así la segunda de las condiciones: la *de generar una partición*.

No es necesario, sin embargo, recurrir a la ficción para encontrar ejemplos de clasificaciones *no* satisfactorias: basta considerar los conceptos de la vida cotidiana, ya que un gran número de ellos *no* proporciona una clasificación satisfactoria.

En la *ciencia* también nos encontramos con clasificaciones *no del todo satisfactorias*, aun cuando no tan insatisfactorias como la proporcionada por la “enciclopedia china” mencionada por Borges o, en menor medida, las presentadas en la vida cotidiana. Los científicos pueden llegar a reconocer la existencia de excepciones a su clasificación, esto es, reconocer que pueden encontrarse objetos del dominio que no caen bajo ningún concepto o que caen bajo más de uno (yendo en contra del requisito de generar una partición). Asimismo, pueden formular no muy claramente los criterios con los cuales establecer la clasificación de manera sistemática, o pueden no ponerse de acuerdo en tales criterios, o bien dichos criterios pueden ser muy difíciles de aplicar en la práctica (violando, en cualquiera de los casos, el requisito de la sistematicidad). Esta situación, bastante común por otra parte, incentiva a los científicos a construir clasificaciones *más satisfactorias*, aun cuando adopten provisoriamente las clasificaciones existentes. En realidad,

Borges, J.L., *Otras inquisiciones*, Buenos Aires: Sur, 1952, p. 142. *Obras completas*, Buenos Aires: Emecé, 1974, p. 708; *Prosa completa*, Barcelona: Bruguera, 1980, vol. 2, p. 223.



sería más apropiado considerar las condiciones enunciadas como idealizaciones a las cuales los científicos intentan aproximarse.

Sin embargo, estas dos condiciones no son las únicas características que habría que tomar en cuenta a la hora de evaluar qué tan satisfactoria es una clasificación, sino que habría otras, adicionales, que son dependientes del contexto y del propósito perseguido con la clasificación. Entre estas condiciones adicionales se encuentra, en primer lugar, la de que el número de clases de las que consta la partición no sea demasiado pequeño en relación con los propósitos perseguidos. Por ejemplo, si se pretende establecer una clasificación de los animales, seguramente los biólogos considerarán insatisfactoria aquella que, dentro de éstos, sólo distinga dos conjuntos: el de los gatos y el de los no-gatos. Por otro lado, si hay dos clasificaciones (digamos *A* y *B*) sobre un mismo dominio de objetos, diremos que una clasificación (*A*) es *más fina* que la otra (*B*), si los conjuntos de los que consta la partición de una clasificación (*A*) son “subdivisiones” (subconjuntos) de los de la otra (*B*). Supongamos, por ejemplo, que *A* clasifica al conjunto de los felinos en gatos, tigres, leones, panteras y pumas, mientras que *B* los clasifica en gatos y no-gatos. Ya que los conjuntos de tigres, leones, panteras y pumas constituyen subdivisiones (subconjuntos) del conjunto de los no-gatos, diremos que *A* proporciona una clasificación más fina que *B*. Debido a que proporcionan mayor poder de discriminación, y que, por consiguiente, transmiten mayor información, por lo general se prefieren las clasificaciones más finas.

Muchas veces a los científicos les interesa no solamente clasificar los objetos de un dominio, sino construir clasificaciones de finura decreciente del mismo dominio, entrelazadas entre sí y formando *jerarquías* enteras de *particiones en clases de distinto nivel de generalidad*. Estas clasificaciones son denominadas *jerarquías taxonómicas* (ya que a las clases establecidas por una clasificación se les llama *taxones*). Un ejemplo típico lo constituyen los sistemas conceptuales de la zoología y de la botánica. La llamada jerarquía taxonómica linneana consta de siete categorías, cada una de las cuales es una partición del conjunto de los organismos: especie, género, familia, orden, clase, *phylum* y reino. Cada organismo es miembro de un taxón de cada una de esas siete categorías. Así, el individuo Einstein es a la vez miembro del taxón *sapiens* (de la categoría especie), del taxón *Homo* (de la categoría género), del taxón *Hominidae* (de la categoría familia), del taxón *Primates* (de la categoría orden), del taxón *Mammalia* (de la categoría clase), del taxón *Chordata* (de la categoría *phylum*) y del taxón *Animalia* (de la categoría reino).

Además de las dos condiciones *formales* establecidas más arriba para los conceptos clasificatorios, éstos deberían satisfacer además condiciones *materiales* de adecuación. Dichas condiciones están en función de la fecundidad científica de los conceptos clasificatorios introducidos. Es decir, exigen, por un lado, que el criterio con que se dividen las clases, o se establece la clasificación, sea pertinente e interesante con miras a la posible formulación de leyes científicas o que esté fundado en leyes y teorías científicas ya instauradas, y, por el otro, que la clasificación resultante posea capacidad explicativa y predictiva.

2.2.2. Conceptos comparativos (o topológicos)

Mayor información que los conceptos clasificatorios la proporciona la siguiente forma conceptual: la de los conceptos *comparativos*, también llamados *to-*

pológicos. Desde un punto de vista metodológico, los conceptos comparativos desempeñan algo así como un papel intermedio entre los conceptos clasificatorios y los métricos. Esta forma conceptual no sólo nos permite clasificar un dominio dado, sino que además nos permite *ordenarlo*, mediante comparaciones de “más o menos”. Ejemplos de conceptos comparativos son *más alto, más oscuro, mayor, mejor, más ligero, más caliente, más filoso, más adaptado, más duro, más ácido*.

Los conceptos comparativos son, desde el punto de vista de su *forma lógica*, de carácter *relacional*, estando constituidos los términos que los expresan por dos predicados diádicos estrechamente relacionados: uno ‘K’ que denota una relación de *coincidencia* –“x coincide con y” o “x es tan como y”– y el otro ‘P’ que denota una de *precedencia* –“x precede a y” o “x es más que y”–, ambas definidas sobre el mismo dominio de objetos *D*. La primera de las relaciones ‘K’ nos permite *clasificar* el dominio de objetos *D*, mientras que la segunda ‘P’ (junto con la primera) nos permite *ordenarlo*.

Para que un concepto comparativo sea aceptable, las relaciones *K* y *P* han de cumplir con ciertas condiciones de adecuación, tanto cada una por separado como conjuntamente. En primer lugar, *K* ha de ser lo que se llama una relación de equivalencia (una relación que es, simultáneamente, reflexiva, simétrica y transitiva, es decir, todo objeto ha de coincidir consigo mismo respecto de la característica de que se trate; si un objeto coincide con otro, entonces el otro también ha de coincidir con el uno; y si uno coincide con otro y éste coincide con un tercero, entonces el primero también ha de coincidir con el tercero). *P* ha de ser transitiva en *D* (es decir, si un objeto es más que otro, respecto de la característica en cuestión, y ese otro más que un tercero, entonces el primero es más que el tercero). *P* es *K*-irreflexiva o, dicho de otro modo, *P* y *K* han de ser mutuamente excluyentes (es decir, el que un objeto coincida con otro respecto de la característica estudiada excluye que sea mayor o menor que él respecto de esa misma característica). *P* es *K*-conexa o, dicho de otro modo, *P* y *K* han de ser conjuntamente conexas (es decir, dados dos objetos cualesquiera, o bien coinciden entre sí, o bien uno de ellos es más o menos que el otro respecto de la característica de que se trate).

La *extensión* de un concepto comparativo es la *unión de las relaciones de coincidencia y de precedencia*. Recojamos lo dicho hasta ahora sobre los conceptos comparativos mediante la siguiente definición semiformal:

Un concepto relacional *C* es un concepto *comparativo* para el dominio de objetos *D* si y sólo si existen dos relaciones *K* y *P* definidas sobre ese dominio tales que la extensión de *C* es $K \cup P$ y se cumplen además las siguientes condiciones:

K es una relación de equivalencia, e.e., reflexiva (xKx), simétrica ($xKy \rightarrow yKx$) y transitiva ($xKy \ \& \ yKz \rightarrow xKz$).

P es transitiva.

P es *K*-irreflexiva (*K* y *P* son mutuamente excluyentes): $\forall x, y \in D (xKy \rightarrow \neg xPy)$.

P es *K*-conexa (*K* y *P* son conjuntamente conexas): $\forall x, y \in D (xKy / xPy / yPx)$.

En la ciencia encontramos muchos conceptos comparativos; en psicología, por ejemplo, el concepto de *cociente de inteligencia* o los conceptos de enfermedades mentales, tales como *paranoia* o *esquizofrenia*, son comparativos, al igual que la *dureza* en la mineralogía, la *adaptación* en la biología y la

Un predicado es diádico cuando expresa una relación que se da entre dos objetos, e.e. cuando tiene lugar para dos argumentos.



categorización social, el nivel de estudios alcanzados y el nivel cultural en la sociología.

La extensión de dichos conceptos *no* puede ser determinada de manera *puramente formal*, sino que para poder decidir si se dan o no las relaciones de coincidencia *K* y de precedencia *P* en el dominio de objetos *D* es necesario prestarle atención a algunas *teorías empíricas aceptadas* o a algunas *operaciones o situaciones empíricamente controlables* que van con ellas asociadas.

Un ejemplo de concepto comparativo es el concepto de *antigüedad*, utilizado en paleontología cuando resulta difícil datar con exactitud los fósiles encontrados en un yacimiento estratificado. Para introducir este concepto comparativo de antigüedad debemos establecer dos relaciones sobre un mismo dominio de objetos *D*, una de coincidencia *K* y otra de precedencia *P*, que satisfagan las condiciones (1) a (4) establecidas más arriba. El dominio de objetos *D* de dicho concepto está constituido por los fósiles que se encuentran en los diversos estratos geológicos del yacimiento. La relación de coincidencia *K* es la siguiente: decimos que “un fósil *x* coincide respecto de la antigüedad con un fósil *y*” si y sólo si *x* e *y* se encuentran en el mismo estrato. Por su parte, la relación de precedencia *P* estipula que “un fósil *x* es más antiguo que un fósil *y*” si *x* se encuentra en un estrato inferior a aquél en el que se encuentra *y*. El concepto comparativo de antigüedad así introducido cumple con las condiciones de adecuación enunciadas más arriba. Sin embargo, para poder decidir si esto es así o no, no bastan consideraciones puramente formales. En efecto, mientras que la relación “ser tan antiguo como” –determinada del modo indicado: encontrarse en el mismo estrato geológico–, cumple con los requisitos de reflexividad y de simetría y excluye la relación “ser más antiguo que” –determinada de la manera indicada: encontrarse en un estrato geológico inferior– por convención, la relación “ser tan antiguo como” cumple con el requisito de transitividad y es conjuntamente conexa con la de “ser más antiguo que” gracias a las ideas que poseemos acerca de la formación de las rocas sedimentarias y la fosilización de los restos de organismos.

Los conceptos comparativos no sólo permiten diferenciar más finamente el dominio de objetos que los clasificatorios, sino que representan además un primer paso para la posterior introducción de la siguiente forma conceptual, la de los conceptos métricos o cuantitativos.

2.2.3. Conceptos métricos (o cuantitativos)

La tercera de las formas conceptuales es la de los conceptos *métricos*, también denominados *cuantitativos* (además de *numéricos*, *funciones numéricas* o *cantidades*). Estos conceptos –a diferencia de los cualitativos y comparativos– no tienen correspondencia en el lenguaje ordinario, sino que constituyen un aporte original de los lenguajes científicos y sus instrumentos más efectivos: permiten diferenciaciones más finas y precisas, así como también formular leyes empíricas más generales y realizar explicaciones y predicciones más exactas y controlables. Los conceptos métricos se relacionan estrechamente con la idea de medir cosas o procesos o algunos de sus rasgos. Para ello, les asignan números (es decir, valores numéricos y no numerales) a los objetos de un dominio dado para representar ciertas propiedades específicas de los objetos denominadas *magnitudes*. Dicha asignación posibilita el uso de operaciones matemáticas (adición, multiplicación, potenciación, derivación e integración, etc.) de un modo empíricamente significativo entre

los valores numéricos asignados, es decir, nos permite operar con números “como si” operáramos con los objetos mismos. Ejemplos de conceptos métricos son *longitud*, *tiempo*, *frecuencia*, *resistencia*, *precio*.

Desde el punto de vista de su *forma lógica*, la extensión de un concepto métrico es una *función numérica* (o, mejor dicho, y como aclararemos más adelante, un conjunto de tales funciones), es decir, una función (conjunto de funciones) que le asigna a cada objeto del dominio D un valor numérico, a saber: el valor de la cantidad para ese objeto. El valor asignado puede ser un número único o un conjunto de varios números (vectores, matrices, tensores, etc.). Ejemplos de conceptos métricos del primer tipo, llamados *escalares*, son la masa y el volumen; del segundo, la velocidad y la fuerza.

La introducción de un concepto cuantitativo o métrico nuevo –actividad usualmente denominada *metrización*– puede llevarse a cabo de las dos siguientes maneras: o bien a partir de conceptos métricos ya existentes o bien sin basarse en conceptos métricos anteriormente disponibles. En el primer caso se habla de *metrización derivada* o *secundaria*, mientras que en el segundo se habla de *metrización primaria* o *fundamental*. El tipo más sencillo de metrización derivada tiene lugar cuando el nuevo concepto se reduce mediante definición a los antiguos conceptos. Ejemplos de conceptos métricos así introducidos son la velocidad media, la aceleración media, la densidad y la renta per cápita. La metrización primaria o fundamental, por su parte, puede realizarse ya sea *basándose en conceptos comparativos previos* o bien *de un modo directo*, a partir de una teoría establecida o como simple recurso de cálculo, sin que se haya pensado previamente en un concepto comparativo correspondiente. La masa, la longitud y la temperatura (termométrica) constituyen ejemplos de conceptos métricos introducidos mediante metrización fundamental del primer tipo, mientras que la intensidad de campo, la entropía, el lagrangiano y la función de onda lo son de conceptos métricos que se introducen directamente, insertándolos en una teoría empírica determinada (el electromagnetismo, la termodinámica, la mecánica clásica y la mecánica cuántica, respectivamente).

Cuando se introduce un concepto métrico a partir de uno comparativo previo debe darse cierta condición de dependencia entre ambos tipos de conceptos: la función correspondiente al concepto métrico debe preservar el orden de la relación correspondiente al concepto comparativo. De esta manera, la metrización fundamental basada en conceptos comparativos previos se lleva a cabo del siguiente modo: primero, se especifica un concepto comparativo, que determina un orden no métrico; y, segundo, se “metriza” ese orden mediante la introducción de valores numéricos. La primera etapa se relaciona con el establecimiento del concepto comparativo correspondiente. La segunda, con la metrización de los órdenes resultantes. Sea $K \succ P$ la extensión del concepto comparativo para un dominio de objetos D y f es una de las funciones de la extensión del concepto métrico. Diremos que el orden establecido por el concepto comparativo ha sido metrizado si se han especificado criterios que asignan a cada elemento x de D exactamente un número real, $f(x)$, de manera tal que las siguientes condiciones se satisfacen para todos los elementos x, y de D :

Si xKy , entonces $f(x) = f(y)$.

Si xPy , entonces $f(x) < f(y)$.

Si dentro de los criterios especificados se dispone de una operación que presenta una semejanza formal con la adición, se habla de *magnitudes extensivas*. Las magnitudes no-extensivas también se llaman *intensivas*. Ejemplos de magnitudes extensivas son los conceptos métricos de masa, volumen y longitud; el concepto métrico de temperatura es, por su parte, ejemplo de magnitud intensiva.

Las funciones específicas f que les asignan números reales a cada uno de los objetos del dominio D se denominan *escalas*. Así, una función específica le asigna a determinado objeto del dominio constituido por los objetos presentes en una cancha de fútbol, digamos una pelota de fútbol, el número 1,450, que representa su masa, mientras que a un botín le asigna el número 0,300; otra función para la masa le asigna a los mismos objetos los números 1.450 y 300, respectivamente; otra le asigna al primero de los objetos el número 0,00145 y al segundo 0,0003; etc. Estas funciones numéricas específicas miden la misma magnitud, la masa, pero le asignan números diferentes a los mismos objetos. Cada una de estas funciones constituyen distintas escalas para la masa: la primera es la “escala kilogramo”, a la que nos referimos explícitamente mediante la utilización del signo ‘kg.’ luego del numeral correspondiente; la segunda es la “escala gramo”, que simbolizamos mediante el signo ‘gr.’; la tercera es la “escala tonelada métrica”, denotada por ‘Tm.’. Estas escalas, y otras, son igualmente válidas –equivalentes– para medir la masa.

Debido a la existencia de escalas equivalentes, no es correcto identificar la extensión de un concepto métrico con sólo una de las funciones métricas, e.e. con una única escala, sino que habría que hacerlo con el conjunto de todas las posibles funciones numéricas que representan la magnitud, e.e. con el conjunto de todas las posibles escalas para la magnitud correspondiente al concepto en cuestión. La extensión del concepto masa es así el conjunto de funciones numéricas $\{f_{kg}, f_{gr}, f_{tm}, \dots\}$. De manera similar, en el caso de la longitud tenemos las escalas “centímetro”, “metro”, “kilómetro”, “milla”, etc., y en el caso de la temperatura las escalas Celsius, Fahrenheit, Kelvin, entre otras. Sus extensiones son $\{f_{cm}, f_m, f_{km}, f_{mi}, \dots\}$ y $\{f_C, f_F, f_K, \dots\}$, respectivamente.

Ahora nos encontramos en condiciones de proporcionar la siguiente caracterización de los conceptos métricos que metrizan conceptos comparativos previos:

Un concepto funcional C es un concepto *métrico* para el dominio de objetos D , que corresponde al concepto comparativo (para ese mismo dominio) cuya extensión es $K \cup P$, si y sólo si la extensión de C es un conjunto $\{f_1, f_2, f_3, \dots\}$ de funciones tales que cada f_j cumple las condiciones 1 y 2 respecto de $K \cup P$.

Algunas observaciones sobre la distinción cualitativo-cuantitativo

En los párrafos precedentes nos referimos a tres distintos tipos de formas conceptuales: los conceptos clasificatorios, los conceptos comparativos y los conceptos métricos. Usualmente estos tres tipos diferentes de conceptos son reducidos a dos: los dos primeros son considerados como “cualitativos”, mientras que los últimos son vistos como “cuantitativos”. Cuando se discute sobre ellos, un error habitual es considerar que las cosas mismas son o bien irreductiblemente “cualitativas” o bien irreductiblemente “cuantitativas”. Cabe recordar, sin embargo, que son

los conceptos –expresados por las palabras de un lenguaje dado– los que seleccionan y determinan los aspectos del mundo –objetos de nuestra experiencia– que tenemos en cuenta. Por lo tanto, no deberíamos decir que es la realidad misma o algún fenómeno particular lo que es cualitativo o cuantitativo, sino más bien el sistema conceptual con el que pretendemos aprehenderlo, aun cuando a veces sea más útil o sencillo emplear un tipo de conceptos en lugar de otro. Es más adecuado concebir la distinción cualitativo-cuantitativo como una distinción de tipo *epistemológica* –si nos centramos en los conceptos que articulan el conocimiento– o de tipo *lingüística* –si nos fijamos en los términos que expresan los conceptos– más que de tipo *ontológica* –correspondiente a cómo son las cosas mismas–.

Por otro lado, partiendo de los méritos relativos poseídos por los conceptos métricos a los que ya hicimos referencia con anterioridad, se suele pensar que éstos tienen prioridad absoluta por sobre los demás, sosteniéndose que las disciplinas científicas no son realmente tales si no usan conceptos cuantitativos. Nuevamente a partir de Kant, que afirma que “en cada rama de ciencia natural se encuentra tanta ciencia como matemáticas haya en ella”, se tiende a identificar la matematización con la cuantificación y a establecer un ranking de “cientificidad”, dependiendo del aparato matemático involucrado. Sin embargo, y a pesar de ser cierto que a partir de la revolución científica de los siglos XVI y XVII ha habido una matematización creciente en las ciencias empíricas y que a veces este resulta ser un buen modo de impulsar el desarrollo de una disciplina científica, no habría que considerar como sinónimas las expresiones “matematizar” e “introducir conceptos cuantitativos”. Por un lado, hay muchas ramas de las matemáticas avanzadas que no son numéricas (teoría de conjuntos, teoría de categorías, álgebra abstracta, etc.). Por el otro, la introducción de conceptos “cualitativos” (clasificatorios y comparativos) implica, como ya vimos, supuestos de carácter conjuntista, es decir, matemático. Por último, habría que señalar que, además, los conceptos cuantitativos no siempre son indispensables ni su utilización trae necesariamente aparejado el desarrollo de una disciplina.

Kant, I., *Primeros principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1993, p. 102.

2.3. Enunciados científicos: las hipótesis y su contrastación

Se podría decir que los conceptos, que nos posibilitan articular el conocimiento, son las unidades mínimas de significación. Sin embargo, tanto en la ciencia como en el discurso cotidiano, el lenguaje se usa primariamente para hacer *aseveraciones* (aseveraciones o afirmaciones), esto es, para decir que ciertas cosas son de cierto modo. Para este uso los conceptos son esenciales, pero no basta considerarlos aisladamente, ya que por sí solos no constituyen unidades aseverativas. Las unidades aseverativas mínimas son las denominadas *proposiciones* o, en términos lingüísticos, los llamados *enunciados*.

Un tipo especial de enunciados lo constituyen las *hipótesis*. En el lenguaje coloquial el término “hipótesis” se utiliza a menudo en un sentido más bien peyorativo, haciendo referencia a una suposición sin fundamento, dudosa y probablemente falsa. Nosotros, en cambio, llamaremos “hipótesis” a cualquier afirmación, ya sea simple o compleja, singular o general, que sea susceptible de ser sometida a contrastación, prueba o examen. A continuación expondremos los elementos y la estructura de la puesta a prueba de hipótesis, así como también las condiciones que se han de satisfacer en el proceso de contrastación. En dicha exposición no consideraremos el carácter aproximativo que poseen todas las afirmaciones de la ciencia –sean és-

tas hipótesis u observaciones mediante las que aquéllas se contrastan— ni trataremos los aspectos específicos de la contrastación de hipótesis cuyas predicciones sean esencialmente estadísticas o probabilísticas. Pero primero presentaremos un episodio histórico a modo de ejemplo que nos permita luego introducir los conceptos básicos.

La estructura del ácido desoxirribonucleico (ADN)

La idea de que la herencia humana es transmitida por los padres a su descendencia a través de trozos identificables de materia presentes en las células germinales (espermatozoides y óvulos) posee una larga historia. Desde comienzos del siglo XX ha tenido lugar un lento pero constante avance en la identificación de ese material —ahora denominado “genes”— y en la determinación de su estructura química. Hacia 1950 era bien conocido que las células germinales contenían tanto ácido desoxirribonucleico (abreviadamente, ADN) como proteínas, que eran largas cadenas formadas por aminoácidos. A pesar de los experimentos realizados por Oswald Avery y dos de sus estudiantes, Colin MacLeod y Maclyn MacCarty, en 1944, que sugerían fuertemente que los genes estaban hechos de ADN, en 1950 la mayoría de los biólogos y químicos todavía pensaban que los genes estaban hechos de proteínas en vez de ADN. Uno de los pocos que tomó realmente en serio el trabajo de Avery y sus colegas fue Salvador Luria, un genetista de origen italiano que enseñaba en la Universidad de Indiana y que investigaba principalmente los virus parásitos de las bacterias, llamados “bacteriófagos” (o “fagos”, para abreviar). A él se dirigió James Watson en 1947 para hacer su doctorado, luego de terminar sus estudios de grado en la Universidad de Chicago. Cuando Watson finalizó su doctorado en 1950, él y Luria decidieron que la mejor manera de progresar en genética sería a través del conocimiento detallado de la estructura química del ADN. Watson recibió entonces una beca posdoctoral para continuar estudiando bioquímica en Copenhage con Herman Kalckar.

Hacia 1951 se concebía a la molécula de ADN como una o más cadenas de nucleótidos, llamados “polinucleótidos”. Cada nucleótido individual consiste en una molécula de azúcar (desoxirribosa), una molécula de fosfato y una base. Hay cuatro posibles bases distintas, dos de cada uno de los dos tipos: purinas (adenina y guanina) y pirimidinas (citosina y timina). Se pensaba a cada cadena de tales nucleótidos como consistentes de un esqueleto, compuesto de azúcar y fosfato, que sostiene la secuencia de bases. Lo que Luria y Watson querían saber era cómo se combinaban todas estas piezas juntas en el espacio tridimensional. Ellos creían que tal conocimiento estructural haría más claro el modo en que los genes funcionan en el proceso de la herencia.

A Watson le pareció el trabajo en Copenhage una pérdida de tiempo. En la primavera siguiente a su llegada fue a Nápoles, donde asistió a un pequeño encuentro científico sobre la estructura de las macromoléculas en los organismos vivos. Allí, Maurice Wilkins —un licenciado en física que trabajaba en el King’s College de la Universidad de Londres— mostró una fotografía de una pequeña porción de ADN, tomada mediante difracción de rayos X. La foto indicaba que el ADN tenía una estructura regular, del tipo de la de un cristal. Watson quedó encantado y comenzó a pensar que los métodos de rayos X eran una ruta más directa hacia la resolución de la estructura del ADN que

◀  Sobre historia de la genética molecular, véase: Olby, R., *El camino hacia la doble hélice*, Madrid: Alianza, 1991; sobre este episodio ver también Watson, J.D., *La doble hélice*, Barcelona: Salvat, 1987, o Giere, R.N., 1979, *Understanding Scientific Reasoning*, New York: Holt, Reinhart and Winston, 3ª ed. revisada, 1991, donde es relatado y analizado en las líneas aquí seguidas.

la bioquímica, que había tratado infructuosamente de dominar. Trató entonces de acercarse a Wilkins, pero no tuvo éxito.

Durante el viaje de regreso a Copenhage, y mientras visitaba a un amigo en Ginebra, Watson se enteró que el considerado más grande fisicoquímico vivo, Linus Pauling (que sería ganador del Premio Nobel de Química en 1954 y de la Paz en 1962), había descubierto la estructura de una importante molécula de proteína, la queratina (que es la proteína del pelo y de las uñas, así como también de la lana y la seda). La fibra de queratina no sometida a estiramiento se denominó “a-queratina”, mientras que la que sí había sido estirada se llamó “b-queratina”. La estructura de la primera, que era una hélice, había sido descubierta por Pauling –que completaba y corregía los intentos iniciales de Lawrence Bragg, Max Perutz y John Kendrew– construyendo un modelo físico de la molécula en el que utilizaba la información obtenida por fotografías hechas mediante difracción de rayos X, y fue denominada con el nombre de “hélice a”. Ahora Watson estaba seguro de que ese era el camino a seguir. ¿Pero dónde podía continuar con su investigación? Wilkins ya lo había evitado y estaba seguro de que Pauling le prestaría poca atención a alguien como él, que no pasaba de ser un biólogo con una formación matemática deficiente. El único lugar en el que podía pensar era el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge –dirigido por Lawrence Bragg, el Premio Nobel más joven (compartido con su padre William) y uno de los fundadores de la cristalografía–, en donde sabía que algunos estaban usando técnicas de rayos X para estudiar macromoléculas. Le escribió entonces a Luria solicitándole ayuda. Para su buena fortuna, inmediatamente después de recibir la carta de Watson, Luria vio a uno de los científicos del Cavendish –John Kendrew, colaborador de Max Perutz, quien estaba interesado en la estructura de las macromoléculas biológicas, en particular de la proteína llamada “hemoglobina” (que transporta el oxígeno en nuestra sangre y que hace que los eritrocitos sean rojos)– en un encuentro en los Estados Unidos y realizó los arreglos pertinentes para que Watson comenzara a trabajar allí el otoño siguiente.

La hipótesis de tres cadenas

Fue en el Laboratorio Cavendish en donde Watson se encontró por primera vez con Francis Crick. Aunque una docena de años mayor que Watson, Crick, que se había licenciado en física, todavía estaba trabajando en su tesis doctoral sobre la difracción de rayos X en proteínas. Sin embargo, Crick compartía con Watson la creencia en la importancia del ADN y en que la mejor estrategia para descubrir su estructura era construir modelos como Pauling había hecho al descubrir la hélice a. Ellos conjeturaron que el ADN también poseía una estructura helicoidal, suponiendo que cualquier otro tipo de configuración sería más complejo.

Una posible dificultad a la colaboración en este punto entre Watson y Crick era que Wilkins ya se encontraba trabajando en el problema y que los científicos ingleses, a diferencia de los franceses y norteamericanos, tendían a respetar tales territorios. Sin embargo, el trabajo de Wilkins avanzaba demasiado lentamente a causa de que no cooperaba con la otra persona de su laboratorio que también se encontraba comprometida con los estudios de rayos X del ADN, y que era una experta cristalógrafa, Rosalind Franklin. Debido en parte a sus conflictos con Franklin –ocasionados en gran medida por el

malentendido surgido de la contratación de Franklin, que ésta entendía que era como investigadora independiente y Wilkins como colaboradora suya—Wilkins no opuso objeciones a que Watson y Crick se ocuparan de investigar la estructura tridimensional del ADN.

Crick contribuyó en gran medida al proyecto, al desarrollar teóricamente (y de forma simultánea con Bill Cochran, aun cuando con un procedimiento más laborioso y no utilizando una elegante deducción como éste, y con un colega de Wilkins, llamado Stokes) el modo en que los rayos X serían difractados por moléculas de forma helicoidal. Si uno está dispuesto a utilizar fotos de rayos X para construir modelos de moléculas de forma helicoidal, necesita saber cómo debería verse una foto de rayos X de tales moléculas.

Sin embargo, esta información les resultaba insuficiente: necesitaban mayor información acerca de las fotografías de rayos X de ADN existentes. Afortunadamente, Franklin había programado dar una charla en Londres sobre su trabajo más reciente. Watson fue enviado a asistir a la charla con la finalidad de aprender todo lo que pudiera. Al día siguiente de la charla de Franklin Watson y Crick se encontraron en el tren hacia Oxford para realizar una visita de fin de semana, durante la cual podrían hablar con Dorothy Hodgkin, la mejor de los cristalógrafos ingleses. Luego de escuchar lo que Watson tenía para decirle de la charla de Franklin, a Crick se le ocurrió una idea que parecía tener sentido, y comenzó a escribir en el reverso de la hoja final de un manuscrito que había estado leyendo: su teoría de la difracción helicoidal mediante rayos X, junto con los datos que Watson recordaba de la charla de Franklin, indicaban que sólo podía haber unas pocas estructuras helicoidales posibles para las moléculas de ADN. Ellas deberían consistir en al menos dos, pero no más de cuatro, cadenas de polinucleótidos. Decidieron intentar un modelo con tres cadenas.

La siguiente cuestión importante se relacionaba con la posición de los esqueletos de azúcar-fosfato respecto de las bases. Sólo había dos alternativas: o bien poner los esqueletos entrecruzados en el centro y dejar las bases colgando hacia fuera o bien poner los esqueletos en el lado externo e intentar colocar las bases en el interior de la molécula. Ya que colocar las bases en el interior parecía demasiado complicado, decidieron tratar de construir un modelo con las bases en el exterior.

De regreso a Cambridge, se dedicaron a construir un modelo usando piezas de alambre y placas de metal especialmente fabricadas para representar los diversos componentes de las cadenas de polinucleótidos. En esta tarea, su mayor referencia la constituía el libro de Pauling *La naturaleza del enlace químico*. Este libro proveía la mejor información disponible acerca de las distancias y los ángulos entre los diversos grupos de átomos que se sostenían juntos mediante enlaces químicos. Un buen modelo también tenía que reflejar estas características básicas de los átomos.

En menos de un mes completaron lo que consideraban un modelo bastante satisfactorio. Invitaron entonces a Wilkins a que viniera desde Londres para inspeccionar su trabajo manual, cita a la que también asistirían su colaborador, William Seeds, Rosalind Franklin y el alumno de esta última, R.G. Gosling. A Franklin le tomó sólo unos pocos minutos descubrir una falla fundamental en el modelo. El ADN natural está rodeado de agua, que se encuentra ligeramente adherida a la molécula. El modelo de tres cadenas de Watson y Crick dejaba demasiados pocos espacios para que las moléculas de agua se engancharan a la cadena de ADN. De hecho, el ADN real acomoda-

 Pauling, L., *The Nature of Chemical Bond*, Itaca: Cornell University Press, 1ª ed., 1939.

ba diez veces más cantidad de agua que la admitida por el modelo. Si bien Franklin había dado la información correcta en su charla del mes anterior, Watson había recordado mal lo que ella había dicho.

A consecuencia de la humillación padecida por el grupo de Londres, el director del Laboratorio Cavendish, Sir Lawrence Bragg, prohibió a Watson y a Crick que se continuaran ocupando del ADN. Watson fue a pasar Navidad con la familia de un amigo en Escocia.

La hipótesis de dos cadenas

Al regreso de sus vacaciones, Watson se dispuso a aprender a sacar fotos de rayos X del virus del mosaico del tabaco (VMT). No consideraba estar perdiendo el tiempo, ya que, por un lado, un componente primordial del virus VMT era un ácido nucleico conocido con el nombre de “ácido ribonucleico” (ARN) –que lo mantenía cerca del ADN–, y, por el otro, se suponía que el VMT tenía una estructura helicoidal. Y, de hecho, varios meses después, y gracias a la utilización de un nuevo tubo de rayos X más potente, obtuvo buenas fotografías que indicaban de modo claro una estructura helicoidal. Pero ni Watson ni Crick dejaron de pensar en el ADN, incluso cuando tenían oficialmente prohibido trabajar en ello.

Mientras tanto, dos científicos del laboratorio Cold Spring Harbor de Massachusetts –Alfred Hershey y Martha Chase– informaron sobre un experimento que apoyaba fuertemente la idea de que el material genético primario era el ADN y no las proteínas. En ocho años, el clima científico había cambiado. A diferencia de lo que había ocurrido con el trabajo de Avery y sus colegas, estos nuevos experimentos fueron tomados muy en serio por muchos otros genetistas. Para Watson, las noticias sobre estos resultados eran tanto buenas como malas. Por un lado, confirmaban que él tenía razón en concentrarse en el ADN. Pero, por el otro, mucha gente comenzaría a trabajar ahora sobre el ADN. La ventaja relativa que él y Crick poseían parecía evaporarse.

En ese momento otro nuevo resultado despertó su interés. Un bioquímico de la universidad de Columbia, el refugiado austríaco de nacimiento, Erwin Chargaff, había medido cuidadosamente los contenidos de bases de ADN de varias especies biológicas diferentes. Los porcentajes relativos de los cuatro nucleótidos cambiaban dependiendo de la especie que era estudiada. Pero, separando los nucleótidos con una técnica cromatográfica altamente sensible, encontró que las cantidades de adenina y timina eran similares en todas sus preparaciones de ADN, al igual que las cantidades de citosina y guanina (proporciones conocidas como “regla de Chargaff”). Watson, igual que Chargaff, estaba seguro de que estos resultados eran altamente significativos, pero nadie parecía tener una idea exacta de cuál podía ser ese significado. Crick también se interesó crecientemente en los resultados de Chargaff.

En septiembre de 1952 Watson dirigió su atención a la idea de que las bacterias, poseyendo genes, se presentan en pares masculino y femenino –asunto investigado por Luigi Cavalli-Sforza, William Hayes y Joshua Lederberg–. Si esto fuera verdad, significaba que la genética de las bacterias era mucho más parecida a la de los organismos superiores que lo que se había pensado antes. Crick, por su parte, retomó una vez más su inconclusa tesis doctoral. Un nuevo aspecto en sus vidas fue que el hijo de Linus Pauling, Peter, se unió a su grupo en el Laboratorio de Cavendish. A través suyo eran ca-

paces de estar al tanto de las novedades producidas por Linus Pauling.

La primera noticia amenazadora fue que éste se encontraba trabajando con hélices *a*. Un poco más tarde llegó la noticia de que estaba trabajando sobre el ADN, pero sin mayores detalles al respecto. Luego, a mediados de enero, llegó una primera versión de un artículo en el que Pauling delineaba un modelo de ADN. Para su gran alivio, Watson y Crick encontraron que Pauling proponía un modelo que superficialmente se parecía a su propio fallido modelo de tres cadenas. Además, poseía varias características más que ellos sintieron que tenían que estar equivocadas. Creyeron que tenían a lo sumo 6 semanas hasta que Pauling descubriera su error y le dedicara toda su capacidad a rectificar la equivocación. No obstante, estaban determinados a retomar una vez más el problema con todas sus energías. La seria perspectiva de que Pauling (con quien desde 1929 se había iniciado una amistosa rivalidad, a raíz de que éste publicara primero las reglas, desarrolladas simultánea e independientemente por Bragg, para la interpretación de los patrones de difracción de rayos X generados por cristales minerales complejos, y que continuaría luego con el análisis de la hélice *a*) pudiera vencer a su grupo hallando la solución, fue suficiente para convencer a Bragg de dejarlos intentar nuevamente.

Watson viajó a Londres para mostrarle a Wilkins el artículo de Pauling y para conseguir su apoyo en el nuevo esfuerzo. No encontrando de manera inmediata a Wilkins, se dirigió al laboratorio de Franklin. Citando el artículo de Pauling, trató de convencerla de la urgencia de la situación y de reclutarla para su labor a ella y a sus datos de rayos X cuidadosamente obtenidos, sin éxito.

Cuando Watson se encontró con Wilkins, éste lo consoló mostrándole una foto que Franklin había tomado a lo que ella llamaba la "forma B" de ADN, que contenía mucha más agua que la entonces estándar "forma A". El patrón (mostrado en la fig. 1) era increíblemente más simple que cualquier otro que Watson hubiera visto antes. Los reflejos negros en forma de cruz sólo podían provenir de una estructura helicoidal. Esto se seguía de la teoría Stokes-Cochran-Crick acerca de cómo son difractados los rayos X por hélices.

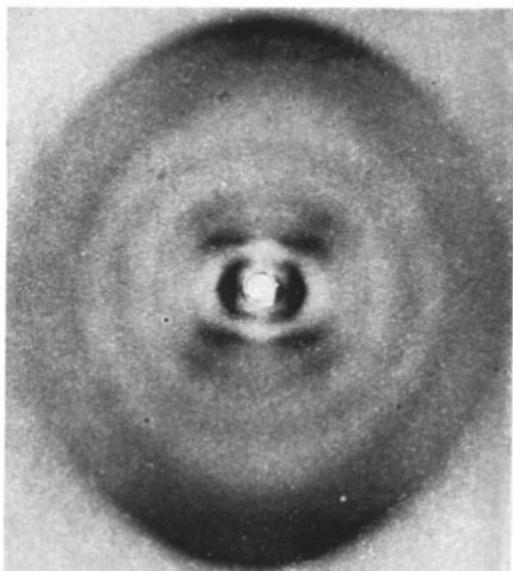


Fig. 1. Fibre diagram of deoxyribonucleic acid from *B. coli*.
Fibre axis vertical

Sin embargo, Watson y Crick todavía no disponían de información suficiente para responder las importantes preguntas con las que se habían enfrentado el año anterior: ¿cuántas cadenas hay?, ¿las bases están del lado de afuera o del de adentro? Y, si las bases están en el lado de adentro, ¿cómo están acomodadas? Esta vez Watson decidió, en el tren de regreso a Cambridge, que debían intentar con modelos de dos cadenas, apelando a la idea general de que las entidades biológicas importantes vienen por pares. La decisión de poner las bases hacia fuera o hacia adentro era más difícil de tomar. Siempre les había preocupado que, en caso de acomodar las bases del lado de adentro, hubiera demasiadas formas diferentes posibles, haciendo así difícil de decidir cuál era la correcta. Pero viendo que no lograban avanzar hacia ningún lado con los modelos con las bases hacia fuera, decidieron probar con modelos con las bases del lado de adentro –tal como parece que Rosalind Franklin sugirió en la charla que Watson le reportaría de manera equivocada a Crick–.

La idea era que una base ligada a un esqueleto de azúcar-fosfato debía estar enlazada con una base en el esqueleto de azúcar-fosfato opuesto, formando así una especie de escalera en espiral en miniatura. Un problema era que, aunque la distancia entre las dos hebras, el diámetro del espiral, debía ser constante, las bases eran todas de distintos tamaños. Colocando dos bases cualesquiera a través del interior deformaría las bases o haría bultos en el esqueleto de la hélice. No obstante, a pesar de estas deformaciones y bultos, Watson procedió a construir un modelo con bases iguales enlazadas entre sí (esto es, adenina con adenina, guanina con guanina y así sucesivamente).

Un cristalógrafo norteamericano que había trabajado alguna vez con Pauling, Jeremy Donahue, lo puso rápidamente en el camino correcto. Watson había tomado la información acerca del hidrógeno de un libro de texto estándar: *La bioquímica de los ácidos nucleicos* de J.N. Davidson. Donahue le informó que los libros de texto estándar estaban equivocados y que, por eso, él había escogido las formas tautoméricas incorrectas (con las configuraciones enol antes que con las ceto), esto es, había puesto los átomos de hidrógeno en la posición equivocada en las bases. Las bases simplemente no podían estar enlazadas de la manera requerida por el modelo de Watson. Crick, a su vez, planteó otras objeciones, relacionadas con la inadecuación de los ángulos de rotación y con la insatisfacción de no proveer una explicación para la regla de Chargaff. Watson abandonó a desgano ese esquema.

Ya que el taller del Laboratorio Cavendish se retrasaba en producir las pequeñas placas de lata que ellos necesitaban para representar las bases, Watson, impacientándose por no poder continuar, cortó su propio juego de bases en cartulina. Jugueteeando con estas piezas, Watson descubrió que la combinación adenina-timina era muy similar en forma a la combinación guanina-citosina. Con estos “escalones”, uno podía construir una escalera en espiral con un diámetro uniforme. Donahue confirmó que los enlaces de hidrógeno requeridos estarían bien. Más aún, este esquema proporcionaría una explicación inmediata de los resultados de Chargaff, debido a que cada par consiste en una purina y una pirimidina, y sólo estas combinaciones particulares se enlazarían de la manera requerida. Según el relato de Watson, Crick –que más tarde afirmó haber llegado independientemente a la misma conclusión sin la ayuda de las piezas de cartulina de Watson– se precipitó al pub de enfrente, donde almorzaban todos los días, proclamando que habían encontrado “el secreto de la vida”.

Davidson, J.N., *The Biochemistry of Nucleic Acids*, London, 1ª ed., 1950, 2ª ed., 1953.



Pero todavía quedaba trabajo por hacer. Cuando el taller entregó las placas de metal, con la ayuda de una plomada y una regla para realizar mediciones, alinearon cuidadosamente todas las piezas, para asegurarse que encajaban las unas con las otras en una configuración consistente con el conocimiento que se tenía de los enlaces químicos relevantes. Todo parecía estar en orden. Incluso Sir Lawrence Bragg estaba satisfecho. Más importante todavía, Wilkins y aun Franklin estaban de acuerdo en que la estructura propuesta era confirmada por un examen detallado de sus propios datos de rayos X.

El artículo de 900 palabras que Watson y Crick publicaron en *Nature*, el 25 de marzo de 1953, comenzaba de la siguiente manera: “Deseamos sugerir una estructura para la sal de ácido desoxirribonucleico (A.D.N.)”.

La fig. 2 muestra una representación esquemática de la estructura del ADN tal como apareció en este primer artículo. Debido a un acuerdo previamente establecido, el artículo de Watson y Crick era seguido por un artículo de Wilkins, Stokes y Wilson y otro de Franklin y Gosling. Estos dos últimos artículos contenían datos de difracción de rayos X, algunos de los cuales ya eran conocidos por Watson y Crick (debido a que Perutz les había dado una copia de un informe confidencial de Sir John Randall, el superior de Wilkins) y otros de los cuales ellos no conocían, pero que igualmente aportaban evidencia en favor de la hipótesis de la doble hélice. Estos tres artículos establecieron la dirección para el trabajo en biología molecular que todavía continúa hasta nuestros días.

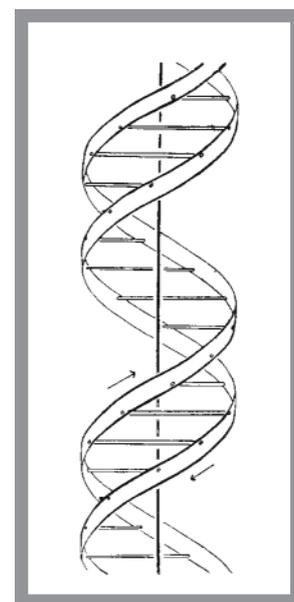
2.3.1. La contrastación de hipótesis

En el ejemplo anterior, hemos visto cómo, en su intento de resolver el problema de la estructura tridimensional del ADN, Watson y Crick sometieron a examen varias hipótesis planteadas como respuestas posibles. Cómo se llega a esas hipótesis –cómo se formulan, elaboran o inventan– es una cuestión sumamente compleja en la que aquí no entraremos. Antes bien, nos centraremos en el modo en que dichas hipótesis son “puestas a prueba” con la experiencia, siguiendo un patrón común de contrastación, habitualmente conocido con el nombre de “método hipotético-deductivo”. Comenzaremos exponiendo los elementos básicos involucrados en el proceso de contrastación de hipótesis.

2.3.2. Los elementos de la contrastación

La hipótesis (*H*). El elemento más importante de los involucrados en el proceso de contrastación es la hipótesis, cuya aceptación o rechazo es lo que está en discusión. La hipótesis (denominada “conjetura feliz” por el metodólogo inglés decimonónico William Whewell o simplemente “conjetura” por el epistemólogo austríaco Karl Popper) es la afirmación sometida a prueba, ya sea que describa algún hecho o evento concreto o exprese una ley general o alguna otra proposición más compleja. En el ejemplo expuesto con anterioridad, las hipótesis en juego son la de la hélice de tres cadenas con las bases colocadas en el exterior, la de la hélice de dos cadenas con las bases del lado de adentro y apareamiento igual-con-igual y la de la hélice de dos cadenas con las bases del lado de adentro y apareamiento igual-con-desigual (adenina con timina y citosina con guanina).

▶ Watson, J.D. y F.H.C. Crick, “A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid”, *Nature*, April 25 (1953): 737-738.



▶ Whewell, W., *The Philosophy of the Inductive Sciences*, London: John W. Parkes, 1847, vol. II, p. 41 ('happy Guess'); Popper, K., “La ciencia: conjeturas y refutaciones”, en *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones*, Buenos Aires: Paidós, 1967, pp. 43-79 (p. 58).

La *predicción (P)*. Ésta es una afirmación empírica constatable experimental u observacionalmente de modo más o menos “inmediato” o “directo” —a diferencia de la hipótesis, que lo es sólo *mediata* o *indirectamente*, a través justamente de la predicción— y constituye lo que podría considerarse la “piedra de toque” de la contrastación. El enunciado que asevera la predicción describe lo que ocurriría en caso de que la hipótesis fuera, de hecho, verdadera. A veces, los científicos usan una hipótesis para hacer predicciones en el sentido literal de tratar de decir por adelantado qué es lo que ocurrirá. A menudo, sin embargo, predecir significa simplemente ser capaz de usar la hipótesis para determinar qué debería ocurrir si la hipótesis propuesta fuera verdadera, aun cuando la observación o el experimento ya hayan sido realizados. Por ejemplo, la hipótesis acerca de la estructura en forma de hélice del ADN permitió a Crick calcular el tipo de patrón de rayos X que se produciría y, por lo tanto, en este respecto, “predijo” el tipo de fotografía que Franklin ya tenía en su posesión, pero que hasta ese momento era desconocida por Watson y Crick. De modo similar, la estructura y composición peculiar de la doble hélice permitió “predecir” la cantidad de agua presente en muestras de ADN, cantidad que ya había sido medida por Franklin. Por último, de la hipótesis de la doble hélice se decía que “predecía” las proporciones de Chargaff, aun cuando los experimentos de Chargaff habían sido llevados a cabo varios años atrás.

Las *condiciones iniciales (CI)*. En la literatura estándar sobre el tema, la predicción se acostumbra caracterizar en la forma de la llamada “implicación contrastadora de la hipótesis” (simbolizada por *I*). Así entendida, la predicción es una afirmación de carácter condicional del tipo “en tales y cuales circunstancias empíricas específicas se observará tal fenómeno” o, mejor, “si se dan tales y cuales circunstancias empíricas específicas, entonces se observará tal fenómeno”. Por ejemplo: “si una muestra de ADN es fotografiada mediante difracción de rayos X, entonces se observarán patrones característicos de reflejos negros en forma de cruz”. Diciendo que la predicción es una implicación contrastadora se enfatiza el hecho de que lo que la hipótesis predice es un estado de cosas condicional. Aquí, sin embargo, optaremos por una caracterización alternativa. En ella se separa el antecedente y el consecuente de la implicación contrastadora, distinguiendo, por un lado, la predicción propiamente dicha (*P*), esto es, el hecho simple que se espera observar, y, por el otro, las llamadas *condiciones iniciales (CI)*, los hechos-condiciones particulares antecedentes que deben darse para que se dé lo predicho. Típicamente, las condiciones iniciales describen la ocurrencia de algún estado al *comienzo* del experimento, y de allí la denominación “condiciones *iniciales*”. Sin embargo, no es necesario en general que las condiciones iniciales describan algún estado que ocurra *antes* que el suceso descrito por la predicción. Aunque sí deben describir algún *otro* estado. Ambas caracterizaciones de la predicción son equivalentes, ya que *I* equivale a $CI \rightarrow P$, y se podría decir que la diferencia entre los dos modos de presentar el asunto es en lo fundamental una cuestión de matiz o énfasis. No obstante lo cual, nosotros preferiremos la segunda de las opciones, debido a que ella explicita la complejidad de la implicación contrastadora. Así, en el caso anterior, las condiciones iniciales (más destacadas) son que sea fotografiada una muestra de ADN mediante difracción de rayos X, y la predicción propiamente dicha es que la fotografía mostrará un patrón distintivo de reflejos negros en forma de cruz.

Los *supuestos auxiliares* (SA). Por lo general la hipótesis sometida a prueba no basta para derivar una predicción contrastadora. Así como tampoco lo basta la conjunción de la hipótesis sometida a contrastación con las condiciones iniciales. Para ello hacen falta ciertos supuestos adicionales que se dan por establecidos implícitamente en la derivación de la predicción y que constituyen algo así como un conocimiento de trasfondo en la contrastación de la hipótesis central considerada. Éstos son los llamados *supuestos auxiliares* (o, también, *hipótesis auxiliares*). Tomemos, por ejemplo, la hipótesis de Watson y Crick de la estructura de doble hélice del ADN, y consideremos la predicción de que, al ser fotografiada mediante rayos X una muestra de ADN, se observarán reflejos negros de cierto tipo característico. El enunciado que describe el hecho a observar no se sigue deductivamente de la hipótesis sola. Su derivación presupone, además de la ocurrencia de las condiciones iniciales (fotografía de ADN mediante rayos X), que, por ejemplo, la muestra de ADN fotografiada sea una muestra pura. Este supuesto juega el papel de un supuesto auxiliar, implícito en la derivación de la predicción. Hay distintos tipos de supuestos auxiliares. Algunos, como el recientemente ejemplificado, son supuestos sobre el material de trabajo. Otros lo son sobre los aparatos utilizados en el diseño experimental; en el caso expuesto, se supone el correcto funcionamiento del tubo de rayos X así como también una sensibilidad apropiada de la placa fotográfica. Un tipo distinto de supuestos auxiliares lo constituyen aquellos que son acerca de los diseños y las técnicas experimentales; en este caso particular, se requiere confiar en los métodos cristalográficos y disponer de una buena hipótesis (proporcionada por la teoría Stokes-Cochran-Crick) acerca de cómo son difractados los rayos X por los átomos de una molécula de forma helicoidal. Los hay aún más abarcativos, que presuponen teorías enteras más complejas o grandes cuerpos de conocimiento, tales como los provenientes de la química y la física, relacionados con ciertas propiedades de los cristales y de los rayos X. Por último, habría que mencionar un supuesto auxiliar, de carácter muy general y bastante vago, igualmente presente de modo implícito en la derivación de la predicción contrastadora, que se lo conoce bajo el nombre de “cláusula *ceteris paribus*”. Dicha expresión, que puede ser traducida por “siendo todas las cosas iguales”, “en igualdad de condiciones” o “en igualdad de circunstancias”, significa que, dada la hipótesis central sometida a contrastación, las condiciones iniciales y todos los demás supuestos auxiliares, se observará cierto fenómeno, “si nada extraño se produce” o “ningún factor extraño desconocido afecta el proceso”; en nuestro ejemplo, si ningún agente extraño impide la formación de los reflejos negros en forma de cruz, característicos de las estructuras en forma de hélice.

El papel de los *datos*, los *experimentos* y las *observaciones* en la contrastación. La predicción provee la posibilidad de contrastar la hipótesis al describir un hecho que ocurriría en caso de que dicha hipótesis fuera verdadera. El hecho descrito por la predicción es un hecho posible, aunque susceptible de ser detectado, de manera más o menos inmediata y directa, si ocurre efectivamente o no. Los *datos* son los hechos en efecto detectados en el momento de la contrastación, cuya coincidencia o no con la predicción constituye la evidencia a favor o en contra de la hipótesis. En el ejemplo de la estructura tridimensional del ADN, las fotografías de rayos X obtenidas por Franklin, la cantidad de agua por ella medida presentes en las muestras de ADN y las proporciones de pirimidinas y purinas detectadas por Chargaff constituían los datos.

Los datos se detectan mediante la *observación*. Por lo general, la observación está vinculada a la realización de un *experimento*. Cuando éste es el caso, parte al menos de las condiciones iniciales son creadas y se encuentran constituidas por las condiciones de realización del experimento, hablándose de *contrastación experimental*. A veces, sin embargo, se observa sin experimentar en sentido estricto. En dicho caso de *contrastación no experimental* se espera que las condiciones iniciales se produzcan de manera espontánea, constatando luego si también se da la predicción. La contrastación no experimental tiene lugar usualmente cuando algunos de los factores intervinientes no son, por diferentes motivos (ya sea por imposibilidad física o tecnológica, o por ser éticamente indeseable o reprochable), accesibles o manipulables.

2.3.3. Las condiciones para una buena contrastación

Una vez identificados los elementos involucrados en la contrastación, veamos ahora con mayor detenimiento cómo se relacionan entre sí, de modo tal de expresar ciertas condiciones a ser satisfechas por una contrastación para que ésta sea considerada una buena contrastación.

Recordemos que, mientras que la predicción provee la posibilidad de contrastar la hipótesis, los datos nos proporcionan el *resultado*: o bien *que la predicción ocurra* o bien *que la predicción no ocurra*. Las condiciones se refieren a estas dos circunstancias distintas.

Primera condición: la condición relativa a la ocurrencia de la predicción

Esta condición establece que la ocurrencia de la predicción *P* debe estar implicada por los demás elementos presentes en la contrastación: la hipótesis *H* que se somete a contrastación, los supuestos auxiliares *SA* y las condiciones iniciales *CI*. De manera esquemática:

Condición 1. Si (*H & SA & CI*), entonces *P*.

Así, en el ejemplo de los patrones característicos de reflejos negros en forma de cruz de las fotografías de ADN, la condición 1 tiene la siguiente forma: “Si la estructura del ADN es helicoidal, la muestra de ADN es pura, el equipo de rayos X funciona correctamente, la placa fotográfica es apropiada, los métodos cristalográficos son adecuados, la teoría Stokes-Cochran-Crick acerca de cómo son difractados los rayos X por los átomos de una molécula de forma helicoidal es correcta, los cristales y de los rayos X poseen las propiedades señaladas por la química y la física, y la muestra de ADN es fotografiada mediante difracción de rayos X (y además no hay distorsiones en la imagen fotográfica resultante producidas por motivos desconocidos), de todo ello se sigue que las fotografías mostrarán ciertos reflejos negros en forma de cruz”.

Esta condición, expresada por un enunciado condicional, no debe interpretarse como lo que se denomina en lógica un “condicional material”, sino que se lo debe hacer como una *implicación lógica*. Y esto por el siguiente motivo: un condicional material es verdadero si no se da el caso de tener el antecedente verdadero y el consecuente falso. Si así entendiéramos la condi-

ción 1, bastaría que efectivamente ocurriera la predicción (con independencia de la verdad del antecedente, es decir, de la hipótesis, los supuestos auxiliares y las condiciones iniciales) o que la hipótesis fuera falsa (o que los supuestos auxiliares o las condiciones iniciales fueran distintos o, sencillamente, no estuvieran), para que la condición 1 se viera satisfecha. Sin embargo, no es eso lo que quiere expresar la condición 1, sino más bien que tanto la hipótesis como los supuestos auxiliares y las condiciones iniciales son utilizadas de modo efectivo en la *deducción lógica* de la predicción.

Segunda condición: la condición relativa a la no ocurrencia de la predicción

La condición 1 es siempre necesaria para que una contrastación sea considerada una buena contrastación. Con todo, tal condición no siempre es suficiente: hay situaciones en las que para ello también debe cumplirse con otra condición. Para ver por qué esto es así, recordemos de nuestro ejemplo que Watson y Crick, mediante la hipótesis de la doble hélice del ADN con los esqueletos de azúcar-fosfato del lado de afuera, predijeron la cantidad de agua que una molécula de ADN debía contener de acuerdo con los datos proporcionados por Franklin. Pero, ¿deberíamos tomar esto como una evidencia para pensar que la hipótesis de la doble hélice representa adecuadamente la estructura física del ADN? De hecho, Watson y Crick no consideraron dicho acuerdo entre la cantidad de agua predicha por la hipótesis de la doble hélice y la cantidad medida de agua como una base concluyente para argumentar en favor de la hipótesis de la doble hélice. ¿Por qué no? Debido a que sabían que había muchos modos posibles de construir hipótesis acerca de la estructura del ADN que dejaran los lugares requeridos para acomodar la cantidad de agua medida. Podía ser hecho con una variedad de hipótesis de triple hélice, por ejemplo, en la medida en que uno pusiera los esqueletos del lado de fuera. Así, predecir la cantidad medida de agua no proporcionaba una base para distinguir la hipótesis de la doble hélice de una variedad de hipótesis de triple hélice. No había base, por lo tanto, para considerar este acuerdo entre predicción y datos como evidencia de que la hipótesis de la doble hélice era verdadera, en vez de alguna hipótesis de triple hélice.

Este ejemplo muestra que una hipótesis puede predecir hechos que también son predichos por otras hipótesis diferentes y, que, cuando esto ocurre, y se utilizan esos hechos para contrastar la hipótesis, la contrastación efectuada es (parcialmente) insatisfactoria. Para que una contrastación sea considerada una buena contrastación la predicción debe estar “especialmente ligada” a la hipótesis que se contrasta. Un modo de describir esta característica de una buena contrastación es decir que la predicción debe ser tal que sería improbable que alguien tuviera éxito en obtenerla a menos que usara la hipótesis en cuestión, esto es, que si la hipótesis no fuese correcta, la predicción sería muy improbable o inesperada. De manera esquemática:

Condición 2. Si (no-H & SA & CI), entonces muy probablemente no-P.

En el ejemplo de la estructura de la doble hélice, esta condición era satisfecha por la contrastación a la que se la sometía mediante la predicción de las imágenes obtenidas mediante difracción de rayos X. Y por eso Watson y Crick consideraron los datos brindados por las fotografías de Franklin como tan im-

portantes. De acuerdo con los cálculos de Crick, una doble hélice produciría un patrón bastante distintivo, que resultaría improbable con moléculas de una estructura significativamente diferente. Así, el acuerdo entre el patrón de rayos X predicho y las fotos de rayos X obtenidas proporcionaron una base confiable para distinguir la hipótesis de doble hélice de una variedad de hipótesis que proponían otras estructuras. En este caso, por lo tanto, el acuerdo entre la predicción y los datos proporcionaron evidencia en favor de la hipótesis de la doble hélice.

Es importante darse cuenta que la condición 2 es independiente de la condición 1. En particular, que se satisfaga la condición 1 no significa que la condición 2 también debe ser verdadera. No todo lo que se sigue deductivamente de una hipótesis es de modo automático algo que sería improbable que ocurriera si la hipótesis fuera falsa. La cantidad de agua contenida en una molécula de ADN se sigue de la hipótesis de doble hélice de Watson y Crick. La predicción de la cantidad de agua satisface la condición 1. Pero no satisface la condición 2. No se necesita asumir la hipótesis de la doble hélice para ser capaz de predecir ese resultado. No es un resultado completamente inesperado y que debería ser visto como una coincidencia si ocurriera. Si la condición 2 no se sigue de la 1, ¿cómo determinamos si se satisface o no en un caso particular? Desgraciadamente no hay una respuesta simple general a esta cuestión, pues depende de elementos pragmáticos difíciles de precisar. Aun cuando en algunos casos –como el anteriormente mencionado– parece razonable la aceptación de la condición 2, siempre es posible imaginar hipótesis diferentes que predigan lo mismo. Por ello, si la condición 2 se considera relativa a cualquier hipótesis alternativa *posible*, ni siquiera en esos casos debemos creer que se satisface. Sin embargo, no parece razonable considerar que la condición 2 se refiere a *toda hipótesis alternativa posible*, sino que más bien habría que considerarla como relativa a hipótesis alternativas *presentes en el contexto en que se lleva a cabo la contrastación*. Siendo así, y a diferencia de la condición 1, las condiciones de aceptación de la condición 2 se tornan fuertemente dependientes del contexto y de sus presupuestos teóricos. Por otro lado, en caso de establecerse la condición 2, también habría de cumplirse la condición 1; para verlo, basta recordar que la condición 2 ha de establecer que la falsedad de *H* implica muy probablemente la falsedad de *P*, pero siendo *P* un hecho predicho por la hipótesis *H*, que es lo que establece la condición 1.

2.3.4. Estructura de la contrastación: argumentos a favor o en contra de la hipótesis

La estructura de los procesos de contrastación se puede presentar o bien en forma de un argumento o una serie de ellos o bien como un programa o proceso algorítmico de decisión. Tradicionalmente se lo tendía a presentar del primer modo, aunque en los últimos años, gracias a la generalización de los modelos cognitivos y computacionales, hay algunos que tienden a hacerlo de manera algorítmica. Sin embargo, no hay diferencias sustantivas entre uno y otro modo de presentación y es más una cuestión de gusto hacerlo como argumento o como algoritmo. Aquí seguiremos el más tradicional modelo argumentativo. Dependiendo del resultado de la contrastación, es decir, de si los datos coinciden o no con la predicción, tendremos evidencia positiva o negativa para la hipótesis, lo cual permitirá argumentar o bien a favor o bien en contra de la hipótesis. Comenzaremos exponiendo el caso en que la eviden-

cia es negativa, luego veremos aquel en que la evidencia es positiva y por último veremos el caso en el cual un mismo dato sirve para someter a contrastación hipótesis alternativas.

Evidencia negativa (refutación)

En su intento por elucidar la estructura tridimensional del ADN, Watson y Crick propusieron en un primer momento la hipótesis según la cual éste poseía una estructura helicoidal de triple cadena, en donde las bases se ubicaban en el exterior y el esqueleto de azúcar-fosfato en el interior. Los datos decisivos para contrastar esta hipótesis los proveían las mediciones experimentales de Franklin de la cantidad de agua contenida en las muestras de ADN. La hipótesis de triple cadena arrojaba una predicción acerca de cuánta agua acomodaría una molécula de ADN con esa estructura. El problema era que la predicción del modelo daba un valor para la cantidad de agua que era sólo una décima parte de la cantidad que Franklin había medido. Así había un claro desacuerdo entre los datos experimentales de las muestras reales de ADN y las predicciones basadas en el modelo de triple cadena de ADN.

En este caso, estamos tentados a concluir sin mayor esfuerzo que la hipótesis es falsa (e.e. que las moléculas de ADN no se parecen ni cercanamente al modo propuesto por la hipótesis de triple cadena). Franklin extrajo inmediatamente esta conclusión, aunque a Watson y Crick les tomó un tiempo mayor arribar a ella.

El argumento que establece la falsedad (o *refutación*) de la hipótesis que sugiere este ejemplo es un argumento deductivo de un tipo familiar, conocido con el nombre de *modus tollens*, que tiene como premisas que la hipótesis implica ("predice") cierto hecho y que el hecho no ocurre y como conclusión que la hipótesis es falsa. Esquemáticamente:

$$\begin{array}{l} \text{Si } H, \text{ entonces } P \\ \text{No } P \\ \hline \text{No } H \end{array}$$

Este argumento constituye un argumento deductivo válido y captura la idea básica del llamado *falsacionismo* o *refutacionismo ingenuo, estricto o simple*. Sin embargo, no es éste el argumento que mejor reconstruye el proceso de contrastación cuando la evidencia de la que disponemos es negativa. Como señalamos en la sección anterior, la primera premisa es más compleja, ya que la predicción no se deduce de la hipótesis sola, sino de la conjunción de la hipótesis con los supuestos auxiliares y las condiciones iniciales, tal como lo establece la condición 1. El argumento tendría entonces la siguiente forma:

$$\begin{array}{l} \text{Si } (H \ \& \ SA \ \& \ CI), \text{ entonces } P \\ \text{No } P \\ \hline \text{No } H \end{array}$$

Pero este argumento, a diferencia del anterior, no es un argumento deductivo válido. Ya que lo que ahora se sigue de las premisas por *modus tollens* no es la falsedad de la hipótesis *H*, sino la *falsedad de todo el antecedente*, formado por la conjunción de la hipótesis *H*, los supuestos auxiliares *SA* y las condiciones iniciales *CI*:

$$\begin{array}{l} \text{Si } (H \& SA \& CI), \text{ entonces } P \\ \text{No } P \\ \hline \text{No } (H \& SA \& CI) \end{array}$$

El enunciado “no $(H \& SA \& CI)$ ”, que es lógicamente equivalente a “no H o no SA o no CI ”, establece que alguno de los miembros del antecedente es falso o que dos ellos lo son o que todos ellos. Volviendo al ejemplo anterior, lo que se sigue de la no concordancia entre la cantidad de agua predicha y la cantidad de agua medida por Franklin en las muestras de ADN no es la falsedad de la hipótesis de la estructura helicoidal de triple cadena sola, sino la falsedad de la conjunción de ésta con los supuestos auxiliares y las condiciones iniciales, esto es, que la hipótesis puede ser incorrecta, aunque también lo pueden ser los supuestos auxiliares y las condiciones iniciales, o sólo éstos –y no la hipótesis– o sólo uno de ellos –p.e. las condiciones iniciales–. Así, una posibilidad en este caso era que Watson y Crick hubieran seguido sosteniendo la hipótesis de la estructura helicoidal de triple cadena como correcta, pero cuestionando los aparatos y las técnicas experimentales utilizados por Franklin en la determinación de la cantidad de agua, o los conocimientos fisicoquímicos que éstos presuponían, o el material por ella utilizado (p.e. la pureza misma de las muestras hidratadas de ADN medidas). Debido a lo cual, para obtener legítimamente como conclusión la negación de la hipótesis sola, hay que añadir como premisa adicional la ocurrencia de los supuestos auxiliares SA y de las condiciones iniciales CI :

$$\begin{array}{l} \text{Si } (H \& SA \& CI), \text{ entonces } P \\ \text{No } P \\ \text{SA \& CI} \\ \hline \text{No } H \end{array}$$

Ahora sí, así reformulado, tenemos un *argumento deductivo válido para la refutación de hipótesis*. Este es un argumento complejo que nos permite, a partir de las dos primeras premisas –la condición 1 (“Si $(H \& SA \& CI)$, entonces P ”) y “No P ”– obtener provisionalmente “No $(H \& SA \& CI)$ ” por *modus tollens* y luego, de esta conclusión intermedia y de la siguiente premisa “ $SA \& CI$ ”, la conclusión “No H ”.

Como vimos –y de acuerdo con lo que se podría llamar *falsacionismo o refutacionismo complejo*– la no concordancia entre los datos y la predicción no provee por sí sola un argumento concluyente en contra de la hipótesis. Siempre es posible intentar salvar a la hipótesis sometida a prueba de la refutación señalando como equivocados a los otros componentes del antecedente de la condición 1: los supuestos auxiliares y/o las condiciones iniciales. En especial, cuando los supuestos auxiliares son los escogidos para ser revisados, se habla de la introducción de “hipótesis *ad hoc*”. La expresión latina “*ad hoc*” significa literalmente “para esto”, es decir, “para un determinado efecto o propósito”. Las hipótesis *ad hoc* son, entonces, nuevas hipótesis auxiliares introducidas para salvar de la refutación a una hipótesis central que se encuentra seriamente amenazada por datos adversos. A veces se hace referencia a estas hipótesis de manera negativa o sospechosa, considerando que su introducción es siempre ilegítima, es decir, que las hipótesis así introducidas no poseen más fundamentos que el intento desesperado de

evitar la refutación de nuestra hipótesis favorita, careciendo a su vez de la posibilidad de ser ellas mismas sometidas a contrastación. Sin embargo, no resulta nada sencillo establecer un criterio general y claro de demarcación entre *ad hocidad* “buena” (o “legítima”) y “mala” (o “ilegítima”); antes bien, qué debe considerarse en cada caso como legítimo o ilegítimo parece depender de elementos pragmáticos muy variables dependientes del contexto específico. Por ello, aquí no optaremos por este sentido estrecho, sino que utilizaremos la expresión “hipótesis *ad hoc*” para referirnos a toda hipótesis auxiliar introducida con la intención de salvar la hipótesis fundamental de la refutación, independientemente de si ésta es considerada “legítima” o “ilegítima” en un momento y contexto particulares.

Evidencia positiva (corroboración o confirmación)

La hipótesis de doble hélice del ADN propuesta por Watson y Crick predice, entre otras cosas, que las fotografías de rayos X producirán un patrón bastante distintivo, que resultaría improbable de otro modo; se realiza la observación y se encuentra que la predicción es efectivamente correcta. ¿Qué podemos afirmar de la hipótesis a partir del establecimiento de evidencia positiva o favorable a ella? ¿Cuál es la estructura de un argumento tal? La más simple de las posibilidades es la siguiente:

$$\frac{\text{Si } H, \text{ entonces } P}{P} \\ H$$

Este argumento pretendería concluir, a partir de la ocurrencia de la predicción, la verdad de la hipótesis. Lamentablemente, éste no es un argumento deductivo válido, sino que es un caso de *falacia de afirmación del consecuente*. Que tomemos en cuenta los supuestos auxiliares y las condiciones iniciales no modifica la situación. El argumento

$$\frac{\text{Si } (H \ \& \ SA \ \& \ CI), \text{ entonces } P}{P} \\ H \ (\& \ SA \ \& \ CI)$$

no establece la verdad de la conjunción de la hipótesis con los supuestos auxiliares y las condiciones iniciales, ya que no es un argumento deductivo válido, sino un nuevo caso de *falacia de afirmación del consecuente*. Pero si no podemos afirmar la verdad de la hipótesis –ni sola ni en conjunción con los supuestos auxiliares y las condiciones iniciales–, ¿qué es lo que estamos capacitados para afirmar de la hipótesis en caso de concordancia entre los datos y la predicción? Esta cuestión, que es una de las más discutidas en filosofía, al menos desde Hume en adelante, se la conoce con el nombre de *problema de la inducción* y consiste en determinar el papel que juegan los *argumentos ampliativos* (e.e. los argumentos *no-deductivos* o *inductivos*) en la ciencia –aquellos en donde la conclusión “dice más que”, o “no está contenida (de algún modo) en”, las premisas– y el sentido preciso en que podemos decir que en un argumento tal las premisas (ciertos datos) confieren apoyo o justificación a la conclusión (la hipótesis, no implicada deductivamente por los datos). Y aquí es donde se dividen las aguas en la fi-

Popper, K., “El conocimiento como conjetura: mi solución al problema de la inducción”, en *Conocimiento objetivo*, Madrid: Tecnos, 1974, pp. 15-40.



Su exposición clásica puede verse en: Popper, K., *La lógica de la investigación científica*, Madrid: Tecnos, 1962.



Su desarrollo más importante puede verse en: Carnap, R., *Logical Foundations of Probability*, Chicago: University of Chicago Press, 1950.



Stegmüller, W., “El problema de la inducción: respuestas modernas al desafío de Hume”, en *Creer, saber, conocer y otros ensayos*, Buenos Aires: Alfa, 1978, pp. 143-234.



lososofía clásica de la ciencia, con quizás sus dos más connotadas figuras a la cabeza: Karl Popper, por un lado, y Rudolf Carnap, por el otro, que si bien no representan las únicas posiciones respecto del problema de la inducción, sí podrían ser consideradas las más influyentes. Ambos coinciden en que si por “inducción” se entiende *proceso de ideación y formulación de hipótesis generales*, esto es, si se plantea el problema dentro del *contexto de descubrimiento o innovación*, no hay un *método inductivo*, pues sencillamente no hay ningún método-procedimiento para idear una determinada hipótesis general a partir de cierta serie finita de hechos particulares observados. Pero difieren en sus posiciones si “inducción” se entiende como la *justificación de hipótesis generales a partir de hechos particulares*, es decir, si el problema se plantea dentro del *contexto de justificación o evaluación o valoración epistémica*. Según Popper, lo único que podemos afirmar de una hipótesis que ha sido sometida a contrastación y en donde ocurre la predicción es que ésta ha sido *corroborada*, lo cual significa que “ha salido airoso” del proceso de contrastación, es decir, que “no ha sido refutada”, pero de *ningún modo que está justificada*, ya sea en sentido fuerte –como sinónimo de “verdadera”– o en alguno más débil –por ejemplo, en términos de probabilidad–.

De este modo, lo que Popper denomina “mi solución al problema de la inducción” es más bien una suerte de disolución: sostiene que los únicos argumentos que deberían ser utilizados en la ciencia son los deductivos y que los argumentos ampliativos no juegan ni deberían jugar papel alguno en la ciencia. Ya que los argumentos deductivos son utilizados en la refutación o falsación de hipótesis, la concepción popperiana se acostumbra denominar *refutacionismo o falsacionismo*.

Carnap, en cambio, cree que los argumentos ampliativos juegan un rol importante, justamente en los casos en que la evidencia es favorable a la hipótesis contrastada, y a lo largo de décadas intentó precisar la relación existente entre las premisas y la conclusión de estos tipos de argumentos. La idea básica de la cual parte Carnap en su programa inductivista es que dicha relación (llamada de *confirmación*) es una relación lógica –similar a la de implicación en los argumentos deductivos, aunque de *implicación parcial*– y que podría establecerse un *concepto métrico de confirmación*, que mida la implicación parcial en términos de la teoría matemática de la *probabilidad*. Su concepción es denominada *justificacionismo o confirmacionismo*.

No ahondaremos aquí en la disputa entre popperianos y carnapianos, sino que presentaremos la estructura que tendrían los argumentos en caso de considerar que la concordancia entre los datos y la predicción constituye *prima facie* evidencia favorable a la hipótesis contrastada, es decir, en caso de considerar que tiene sentido hablar de argumentos ampliativos y confirmación de hipótesis, aun cuando no se explicita, precise o articule ningún sistema de lógica inductiva particular.

Una primera posibilidad en relación con la estructura de esta clase de argumentos sería la de considerar una versión inductiva del argumento deductivo inválido presentado anteriormente, conocido como *falacia de afirmación del consecuente*, de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l} \text{Si } (H \ \& \ SA \ \& \ CI), \text{ entonces } P \\ \hline P \\ \text{H } (\& \ SA \ \& \ CI) \end{array}$$

Sin embargo, la afirmación del consecuente tampoco es en general un argumento inductivo válido (un buen argumento inductivo es aquel en el cual las premisas hacen muy probable que la conclusión sea verdadera). El argumento inductivo que establece que la evidencia es favorable a la hipótesis utiliza en realidad como primera premisa la condición 2 en lugar de la condición 1, o sea, aquella que sostenía que era improbable que ocurriera la predicción en caso de que la hipótesis fuera falsa. El argumento tendría así la siguiente estructura:

$$\frac{\text{Si (no-}H \text{ \& SA \& CI), entonces muy probablemente no-}P}{P} \\ H$$

Este argumento es nuevamente un argumento inductivo inválido. En realidad, lo que se sigue inductivamente de las premisas es:

$$\frac{\text{Si (no-}H \text{ \& SA \& CI), entonces muy probablemente no-}P}{P} \\ \text{No (no-}H \text{ \& SA \& CI)}$$

Ahora sí, y dado que “no (no- H & SA & CI)” es lógicamente equivalente a “ H o no-SA o no-CI”, podemos obtener, añadiendo la ocurrencia efectiva de SA y CI, legítimamente la hipótesis H como conclusión. El argumento para la confirmación de hipótesis tiene finalmente la siguiente forma:

$$\frac{\text{Si (no-}H \text{ \& SA \& CI), entonces muy probablemente no-}P}{P} \\ \text{SA \& CI} \\ H$$

Este es un argumento inductivo válido complejo. La primera de sus premisas –“Si (no- H & SA & CI), entonces muy probablemente no- P ”– es la condición 2. La segunda proporciona el resultado de la contrastación, o sea, los datos. De estas dos primeras premisas se obtiene *inductivamente* la conclusión provisoria “no (no- H & SA & CI)”. Este es el único paso inductivo presente en el argumento. Por último, a partir de la conclusión provisoria y de la tercera de las premisas –“SA & CI”–, se establece mediante una inferencia puramente *deductiva* la conclusión final “ H ”. El argumento para la confirmación de hipótesis es de este modo no sólo un argumento complejo, sino también un argumento mixto, con una parte inductiva y otra parte deductiva. Sin embargo, el argumento en su conjunto debe considerarse como inductivo, pues al menos una de sus inferencias lo es, y por consiguiente estableciendo la conclusión –es decir, la hipótesis– de un modo no concluyente. Asimismo, este argumento depende esencialmente de la condición 2, y será tanto mejor como argumento inductivo en la medida en que mejor esté justificada la condición 2. Sin embargo, ya vimos más arriba lo problemático que resulta la comprobación de dicha condición. Esta situación torna igualmente problemática a la metodología de la confirmación. Por último, y de manera análoga a lo que ocurría en el caso de la refutación, siempre se podría cuestionar que la predicción exitosa constituye evidencia favorable a la hipótesis, sosteniendo que algún supuesto auxiliar es incorrecto o que ha fallado alguna condición inicial.

2.3.5. Contrastaciones cruciales

Las llamadas *contrastaciones cruciales* son aquellas contrastaciones en donde un mismo dato se utilizaría para decidir entre hipótesis alternativas rivales. Cuando la constatación de la ocurrencia o no de la predicción depende de la realización de experimentos, se habla de *experimentos cruciales*.

En las contrastaciones cruciales las hipótesis alternativas rivales se oponen entre sí con respecto a una y la misma predicción, de forma tal que una de las hipótesis H , en conjunción con los supuestos auxiliares SA y las condiciones CI , predice que ocurrirá P , mientras que la hipótesis rival H' predice, con ayuda de sus propios supuestos SA' , que en las mismas condiciones iniciales CI se dará no- P . La constatación de la ocurrencia o no de P presumiblemente proporcionaría evidencia a favor de una hipótesis y en contra de la otra.

A continuación se expone un ejemplo de contrastación crucial (en particular, de experimento crucial).

A pesar de que desde mucho tiempo atrás se sabía que podían ocurrir cambios en los genes de los organismos –llamados “mutaciones”–, en los años cuarenta todavía no se sabía cómo era que ocurrían esos cambios. Parte de la respuesta a esta pregunta fue dada por un famoso experimento realizado por Max Delbrück y Salvador Luria. Desde hacía poco se sabía que algunos tipos de virus (los llamados “bacteriófagos” o, de forma abreviada, “fagos”) podían atacar y matar algunos tipos de bacterias. Por otro lado, resultaba relativamente sencillo “cultivar” bacterias en recipientes cubiertos que contenían los nutrientes necesarios para que las bacterias se desarrollaran y reprodujeran.

Nota histórica sobre el término ‘mutación’

El término “mutación” no siempre tuvo el mismo significado (e.e. expresó el mismo concepto) que el que adquirió en la llamada “genética clásica” de la mano de Thomas Hunt Morgan y sus discípulos, partir de la segunda década del siglo XX. Dicho término fue adoptado originalmente en 1869 por Wilhelm Heinrich Waagen para referirse a los cambios abruptos en el registro fósil. Posteriormente lo usó el botánico holandés Hugo de Vries para referirse a la “aparición repentina y espontánea de nuevas formas a partir de la cepa (linaje, estirpe, raza) antigua”, que creyó encontrar en la planta *Oenothera lamarckiana*, llamándolas “modificaciones espontáneas” primero y “mutaciones” luego. De acuerdo con dicho autor, estas variaciones, conocidas como “variaciones por saltos” o como “variabilidad formadora de especies”, diferían de la variabilidad que se presentaba habitualmente, llamada “individual”, “fluctuante” o “gradual”, variabilidad que –trátase de la comparación estadística de distintos individuos o de los distintos órganos del mismo nombre en un individuo– era objeto preferido de investigaciones estadísticas. A las mutaciones, por su parte, las clasificaba en *progresivas* –origen de nuevas propiedades– y *retrogradivas* –pérdida de propiedades ya existentes–, considerando que sólo las primeras aportaban a la evolución de las especies. De Vries expuso los resultados de su estudio del fenómeno de la mutación en *Die Mutationstheorie*, Leipzig: Veit & Comp., 1901-1903, 2 vols. Cuando Thomas Hunt Morgan comenzó en los años 1908-1909 a cruzar moscas de la fruta –también llamadas “moscas de la banana” o “del vinagre”–, *Drosophila* –este animalito que fue el objeto de estudio predilecto (el objeto más investigado) de la genética clásica–, con el objetivo de poner a prueba la teoría de la mutación de de Vries en animales, los mutantes que primero encontró eran variaciones en un carácter (color de ojos). El color blanco de los ojos era una va-

riación estable, que Morgan denominó “mutación”, pero que era bastante distinta a las que de Vries había encontrado. La mutación hallada por Morgan era pequeña, discreta y recesiva, y no era la causante de la formación de una nueva especie. De hecho, ni Morgan ni colaboradores obtuvieron mutaciones del tamaño de las que de Vries creyó haber observado en *Oenothera*, aun cuando en el transcurso de sus investigaciones sobre el color de ojos de la *Drosophila*, fueron identificados, además de los colores de ojos rojo (normal, tipo salvaje) y blanco (mutante), bermeillon, rosa, eosin y una cantidad más de otros colores y sus repectivas mutaciones.

Delbrück y Luria descubrieron que, en algunos cultivos de bacterias, algunas pocas bacterias sobrevivían a los ataques de los fagos. Más aún, los descendientes de las bacterias sobrevivientes también tendían a sobrevivir los ataques de fagos. Esto mostraba que los genes de algunas de las bacterias habían sufrido mutaciones que las hicieron resistentes a los fagos y que esas bacterias resistentes pasaron sus genes mutantes a su descendencia.

La pregunta que permanecía sin respuesta era si las mutaciones en las bacterias resistentes eran causadas por el propio virus atacante o si ellas tenían lugar de manera azarosa. El experimento en cuestión fue diseñado para contestar esta pregunta. Delbrück y Luria consideraron lo que pasaría si a un número de cultivos de bacterias (digamos, veinte), cada uno con un similar número pequeño de bacterias, le era permitido crecer durante un tiempo corto, inyectándole más tarde una misma cantidad de fagos, y permitiéndole luego crecer un poco más. Ellos argumentaron que si los fagos estuvieran produciendo las mutaciones, entonces todos los cultivos de bacterias debían terminar aproximadamente con el mismo número de bacterias resistentes.

Por otro lado, si las mutaciones surgieran por azar, se sigue que, aquellos cultivos de bacterias en donde éstas tuvieran lugar antes, terminarían con muchas más bacterias mutantes que aquellos cultivos de bacterias en donde las mutaciones ocurrieran después. Las bacterias mutantes aparecidas antes habrían tenido mayor tiempo para multiplicarse. Aquellos cultivos en donde el azar de la mutación tuviera lugar en algún momento intermedio terminarían con un número igualmente intermedio de bacterias mutantes. Si la ocurrencia de mutaciones fuera una cuestión de puro azar, uno esperaría, por consiguiente, que, al finalizar el experimento, hubiera una gran variación en los números de bacterias mutantes de los diferentes cultivos de bacterias.

Delbrück y Luria prepararon algunos cultivos de bacterias, introdujeron entonces los fagos y por último encontraron que el número real de bacterias resistentes difería ampliamente de un cultivo de bacterias a otro.

En este ejemplo, tenemos dos hipótesis sobre el surgimiento de las mutaciones en las bacterias: causadas por los fagos (H) o de manera azarosa (H'). Las predicciones de dichas hipótesis (dados los supuestos auxiliares SA y SA' , respectivamente, y las condiciones iniciales CI) eran: de la primera (H), que los distintos cultivos de bacterias deberían tener, al finalizar el experimento, un número aproximadamente igual de bacterias mutantes (P); de la segunda (H'), que, una vez concluido el experimento, tendría que haber un número distinto de bacterias mutantes de los diferentes cultivos de bacterias ($no-P$). Luego del experimento se constató que efectivamente los diferentes cultivos de bacterias mostraban una gran variedad en el número de bacterias mutantes presentes. El resultado del experimento fue la no ocurrencia de P , es decir, $no-P$, que se consideró como aportando buena evidencia para la falsedad de la hipótesis H , por un lado, y a favor la hipótesis H' , por el otro.

► Luria, S.E. y M. Delbrück, “Interference between Bacterial Viruses: 1-Interference between Two Bacterial Viruses Acting Upon the Same Host, and the Mechanism of Virus Growth”, *Arch. Bioch.* 1 (1942): 111-141.

► Luria, S.E. y M. Delbrück, “Mutations of Bacteria from Virus Sensitivity to Virus Resistance”, *Genetics* 28 (1943): 491-511.

Como lo muestra el ejemplo anterior, una contrastación crucial no es más que la combinación de dos contrastaciones de dos hipótesis que hacen predicciones contradictorias sobre el mismo fenómeno. De este modo, se aplica aquí todo lo dicho sobre contrastación en las secciones previas. En particular, que para que podamos considerar como resultado de una contrastación crucial la refutación de una hipótesis y la confirmación de la otra, debemos asegurarnos que las condiciones 1 y 2 sean satisfechas, aun cuando siempre existe la posibilidad de que se apele a las estrategias *ad hoc* de rechazar los supuestos auxiliares y las condiciones iniciales.

2.3.6. Observaciones finales sobre la contrastación de hipótesis

En las secciones anteriores hemos visto la metodología de la contrastación. Ahora comentaremos brevemente las actitudes o decisiones posibles que los científicos pueden tomar frente a sus resultados. En particular, la aceptación de los resultados de la contrastación *depende de muchos factores de distinto tipo*: de características internas de las contrastaciones, de cualidades de las hipótesis y de factores con carácter más social.

Dentro de los factores del primer tipo encontramos la *cantidad*, la *calidad* y la *variedad* de las contrastaciones realizadas. Respecto de la cantidad, y debido a que siempre es posible que el resultado obtenido sea producto de la casualidad, por lo general no se aceptará una hipótesis luego de una sola contrastación, sino que se acostumbra requerir que la contrastación se repita un número suficiente de veces, número que depende del contexto en que se lleva a cabo la contrastación. En algunas ocasiones podría bastar una sola contrastación si ésta es considerada de “excepcional calidad”, calidad que, a su vez, depende de diversos factores, en particular del rigor del diseño experimental y del grado de precisión y lo inesperado de la predicción. Finalmente, también se considera que la variedad de las predicciones es un valor importante: mientras mayor sea la diversidad de fenómenos predichos y efectivamente constatados, mayores razones habrá para la aceptación de la hipótesis.

La *simplicidad*, la *belleza* y la *integración teórica* son factores relacionados con las cualidades de las hipótesis que favorecen la aceptación de los resultados de la contrastación. A pesar de lo difícil que es proporcionar un criterio general y preciso de simplicidad, generalmente se acepta la idea de que si en todo lo demás son iguales, se prefiere la hipótesis más sencilla. Otro de los factores que puede influir en la suerte de una hipótesis es la belleza, aunque está claro que puede diferir ampliamente en su aplicación de científico en científico. Finalmente, que una hipótesis pueda ser integrada con otras hipótesis o teorías del mismo o diferente ámbito también proporciona una buena razón para su aceptación.

Los factores de carácter más social que igualmente podrían influir en la decisión que toman los científicos de aceptar determinadas hipótesis son los de su *consistencia con ciertas creencias socialmente extendidas* o con *ciertas ideologías* relacionadas con el poder político o económico. Aunque para algunos teóricos de la ciencia actuales, los sociólogos radicales, estos factores son los únicos realmente determinantes, y así parece serlo en ciertos casos, por lo general son sólo elementos que se suman a los otros factores más directamente determinantes.

Los científicos adoptan ciertas *actitudes* o toman ciertas *decisiones* respecto de los resultados de la contrastación *basándose en* determinados va-

lores o factores de diversa índole. Una de esas decisiones es la de aceptar los resultados y, eventualmente, aceptar o rechazar las hipótesis sometidas a contrastación. Sin embargo, aunque se posean motivos o razones para dicha aceptación (proporcionados por la mayor o menor satisfacción de los valores o factores señalados), ésta nunca puede ser considerada definitiva o infalible: consideraciones o resultados posteriores nos podrían llevar a revisar las decisiones adoptadas. De este modo, tendríamos que abandonar la idea de la justificación (en sentido fuerte), según la cual el genuino saber –y se supone que el científico pertenecería a este ámbito– posee como nota distintiva la certeza objetiva, conteniendo en sí mismo la garantía de verdad y excluyendo la posibilidad de error, y así proporcionándonos certeza absoluta e infalibilidad. Aquí habría que distinguir claramente entre la aceptación de determinadas afirmaciones científicas y la justificación de su verdad: podría darse el caso de que un enunciado generalmente aceptado resulte ser falso, aunque también puede ser que sea verdadero y nosotros nunca podamos demostrar o justificar (en sentido fuerte) ni una cosa ni la otra. Sin embargo, una vez abandonado el justificacionismo fuerte no necesitamos caer en los brazos del extremo opuesto, el escepticismo radical, según el cual nada puede saberse. Pero independientemente de si tal concepción es autocontradictoria o, al menos, se desprecia a sí misma (ya que si nada puede saberse, tampoco se puede saber que nada puede saberse), sí parece que su motivación proviene de una concepción demasiado exigente del saber, es decir, de una concepción que exige la certeza. Afortunadamente, el justificacionismo en sentido fuerte y el escepticismo radical no son las únicas dos posiciones posibles. Como señalamos más arriba, se abre otra posibilidad al sustituir la concepción infalibilista del saber (que exige certeza) por otra que sostiene que el saber –el saber genuino– es falible, y por consiguiente revisable, aunque no por ello inmotivado o irracional, sino, por el contrario, basado en motivos o razones, concepción que se ha denominado fiabilista.

De hecho, a lo largo de las últimas secciones hemos tratado justamente de señalar cuáles serían tales razones y cómo podrían utilizarse para argumentar a favor o en contra de ciertos enunciados científicos, las llamadas “hipótesis”.

◀ Para la discusión de éste y otros temas afines, véase: Quesada, D., *Saber, opinión y ciencia*, Barcelona: Ariel, 1998.

- ▶ 1. En un texto seleccionado, identificar los términos lógico-matemáticos y técnicos, y señalar qué tipo de conceptos expresan estos últimos (si conceptos clasificatorios, comparativos o métricos).
- ▶ 2. Mencionar algún concepto clasificatorio, otro comparativo y un último métrico que pertenezcan todos a la misma familia, como pesado, más pesado que, peso.
- ▶ 3. Desarrolle una propuesta acerca de las siguientes cuestiones:
 - 3.1. ¿Es posible ordenar cualquier conjunto?

- 3.2. Las especies biológicas, ¿son descubiertas o inventadas?
 3.3. ¿Somos a contrastación hipótesis totalmente aisladas?
 Formule una hipótesis sencilla y observe si en el proceso de su contrastación no hay que hacer uso de otras hipótesis.



4. Analizar los siguientes textos que presentan episodios científicos, de acuerdo con los elementos presentados en la unidad. Identificar a) la hipótesis central a ser contrastada; b) las condiciones iniciales; c) los supuestos auxiliares; d) la predicción; e) decir si se cumple la condición 1; f) y la 2; g) el resultado del experimento; h) la conclusión justificada.

Priones

A mediados de los 70's, los biólogos generalmente creían que los agentes infecciosos debían contener material genético hecho de ácido nucleico (DNA o RNA) para poder multiplicarse en sus víctimas. En la década siguiente, esta creencia fue desafiada por la investigación en las causas de raras enfermedades degenerativas llamadas "encefalopatías espongiiformes", debido a que producen agujeros en el cerebro, dejándolo con aspecto de esponja. La más común de tales enfermedades, presente en ovejas y cabras, se llama "scrapie", debido a que sus víctimas se desesperan tanto a veces que se rascan hasta arrancarse trozos de su propia lana antes de morir. El más conocido brote reciente de estas enfermedades es la epidemia de la "enfermedad de las vacas locas" en Gran Bretaña a fines de los años 80's y comienzos de los 90's, un brote rastreable en la existencia de ground-up sheep heads in commercial feeds. Hay cuatro variedades *humanas* conocidas de la enfermedad, incluyendo una, Kuru (muerte de risa), que existía sólo en una tribu de Papua, Nueva Guinea, y que era aparentemente transmitida por la práctica (ahora discontinuada) de comer los cerebros de los parientes muertos.

Sospechas de que scrapie era transmitida por proteínas solas, sin material genético acompañante, surge por primera vez entre investigadores de Gran Bretaña. Extractos de cerebros de víctimas de scrapie fueron objeto de radiación ionizante e inyectado en cerebros de animales normales. La radiación ionizante debería [break down] [eliminar] cualquier presencia de DNA o RNA en el extracto. Sin embargo, esos extractos irradiados producían scrapie en los animales experimentales previamente sanos. Otros investigadores entonces sometieron extractos similares a procedimientos [conocidos] para [break down] [break up] [degradar] proteínas. Estos extractos tratados tenían una habilidad grandemente reducida para producir scrapie en animales sanos. Algunos investigadores, tanto en Gran Bretaña como en Estados Unidos, concluyeron que de algún modo las proteínas solas eran capaces de producir scrapie en animales sanos. Un

investigador norteamericano, Stanley Prusiner, sugirió el nombre priones para esos agentes infecciosos para distinguirlos de agentes tales como virus y bacterias.

Identificando el prion scrapie

Habiendo mostrado que las proteínas pueden producir scrapie, la siguiente tarea fue aislar la proteína particular que produce scrapie. Esta búsqueda llevó a una proteína particular llamada PrP, por “prion protein” (“proteína prion”). Sorpresivamente, sin embargo, resultó que PrP era producida naturalmente por un gran número de mamíferos, ratones incluidos, sin ningún efecto nocivo. ¿Habían cometido un error? ¿No era PrP el agente infeccioso, después de todo? Prusiner sugirió que habría dos formas de PrP, una común e inofensiva, la otra rara y mortal. Habiendo identificado a PrP, resultaba posible aislar los genes particulares responsables para su producción. Más aún, se descubrió que víctimas de scrapie y enfermedades relacionadas tenían una versión ligeramente mutada del gen que produce PrP normal. Con estos descubrimientos, resultó selectivamente posible criar ratones que produjeran PrP normal, otros que produjeran niveles bajos del PrP mortal, y aun otros que produjeron niveles altos de la versión mortal. Fue entonces posible construir un experimento persuasivo que mostrara que el mutante PrP podía de hecho transmitir infecciones del tipo scrapie de un animal a otro.

Los ratones que producen niveles altos del PrP mortal comenzaban sanos, pero eventualmente morían de una enfermedad del tipo scrapie. Aquellos que producían niveles bajos del PrP mortal permanecían sanos. Sin embargo, si extractos de cerebro de un productor de altos niveles muerto son inyectados en el cerebro de un productor de bajos niveles, también muere por la enfermedad. Si, más aún, extractos del cerebro de esta segunda víctima son inyectadas en otro productor de bajos niveles, también muere por la enfermedad. Sin las inyecciones, ninguno de los productores de bajos niveles habrían contraído la enfermedad.



Carnap, R., *Fundamentación lógica de la física*, Buenos Aires: Sudamericana, 1969, caps. V-XII.

Díez, J.A. y C.U. Moulines, *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona: Ariel, 1997, caps. 3, 4, 6, 12.

Hempel, C.G., *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*, Madrid: Alianza, 1988, cap. III.

Hempel, C.G., *Filosofía de la ciencia natural*, Madrid: Alianza, 1973, caps. 2-4.

Referencias bibliográficas

- Badesa, C., Jané, I. y R. Jansana (1998), *Elementos de lógica formal*, Barcelona: Ariel.
- Balzer, W. (1997), *Die Wissenschaft und ihre Methoden*, München: Karl Alber Freiburg.
- Blasco, J.L., Grimaltos, T. y D. Sánchez (1999), *Signo y pensamiento*, Barcelona: Ariel.
- Borges, J.L. (1952), *Otras inquisiciones*, Buenos Aires: Sur.
- Bunge, M. (1983), *La investigación científica*, Barcelona: Ariel.
- Carnap, R. (1950), *Logical Foundations of Probability*, Chicago: University of Chicago Press.
- Carnap, R. (1969), *Fundamentación lógica de la física*, 1ª edición 1966, Buenos Aires: Sudamericana.
- Copi, I. (1981), *Introducción a la lógica*, Buenos Aires: Eudeba.
- Copi, I. y C. Cohen (1995), *Introducción a la lógica*, México: Limusa.
- Dancy, J. y E. Sosa (eds.) (1992), *A Companion to Epistemology*, Oxford: Blackwell.
- Davidson, J.N. (1953), *The Biochemistry of Nucleic Acids*, 1ª edición 1950, London: Methuen.
- Díez, J.A. (2002), *Iniciación a la lógica*, Barcelona: Ariel.
- Díez, J.A. y C.U. Moulines (1997), *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona: Ariel.
- Estany, A. (1993), *Introducción a la filosofía de la ciencia*, Barcelona: Crítica.
- Falguerra, J.L. y C. Martínez (1999), *Lógica clásica de primer orden*, Madrid: Trotta.
- Frege, G. (1973), *Estudios sobre semántica*, Barcelona: Ariel.
- Gamut, L.T.F. (2002), *Lógica*, Buenos Aires: Eudeba.
- García-Carpintero, M. (1996), *Las palabras, las ideas y las cosas*, Barcelona: Ariel.
- Giere, R.N. (1991), *Understanding Scientific Reasoning*, 1ª edición 1979, New York: Holt, Reinhart and Winston.,.
- Hacking, I. (1979), *¿Por qué el lenguaje importa a la filosofía?*, 1ª edición 1975, Buenos Aires: Sudamericana.
- Hempel, C.G. (1979), *La explicación científica*, 1ª edición 1965, Buenos Aires: Paidós.
- Hempel, C.G. (1988), *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*, 1ª edición 1952, Madrid: Alianza.
- Hierro S. Pescador, J. (1986), *Principios de filosofía del lenguaje*, Madrid: Alianza.
- Judson, H.F. (1979), *The Eight Day of Creation*, New York: Simon and Schuster.
- Kant, I. (1978), *Crítica de la razón pura*, 1ª edición 1781, 2ª edición 1787, Madrid: Alfaguara.
- Kant, I. (1993), *Primeros principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*, 1ª edición 1786, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kutschera, F.v. (1979), *Filosofía del lenguaje*, 1ª edición 1971, Madrid: Gredos.

- Luria, S.E. y M. Delbrück (1942), "Interference between Bacterial Viruses: 1- Interference between Two Bacterial Viruses Acting Upon the Same Host, and the Mechanism of Virus Growth", *Archives of Biochemistry and Biophysics* 1, pp. 111-141.
- Luria, S.E. y M. Delbrück (1943), "Mutations of Bacteria from Virus Sensitivity to Virus Resistance", *Genetics* 28, pp. 491-511.
- Materna, P. (1998), *Concepts and Objects*, Acta Philosophica Fennica, vol. 63.
- Morgan, T.H. (1911), "Origin of Nine Wing Mutations in *Drosophila*", *Science* 33, pp. 496-499.
- Mosterín, J. (1984), *Conceptos y teorías en la ciencia*, Madrid: Alianza.
- Olby, R. (1991), *El camino hacia la doble hélice*, 1ª edición 1974, Madrid: Alianza.
- Pauling, L. (1939), *The Nature of Chemical Bond*, Ithaca: Cornell University Press.
- Popper, K. (1967), *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones*, 1ª edición 1963, Buenos Aires: Paidós.
- Popper, K. (1962), *La lógica de la investigación científica*, 1ª edición 1935, Madrid: Tecnos.
- Quesada, D. (1998), *Saber, opinión y ciencia*, Barcelona: Ariel.
- Salmon, M.H. (1992), *Introduction to the Philosophy of Science*, Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall.
- Simpson, T.M. (1964), *Formas lógicas, realidad y significado*, Buenos Aires: Eudeba.
- Stegmüller, W. (1978), *Creer, saber, conocer y otros ensayos*, 1ª edición 1965, Buenos Aires: Alfa.
- Stegmüller, W. (1979), *Teoría y experiencia*, 1ª edición 1970, Barcelona: Ariel.
- Suppes, P. (1966), *Introducción a la lógica simbólica*, 1ª edición 1957, México: CECSA.
- Tugendhat, E. y U. Wolf (1997), *Propedéutica lógico-semántica*, 1ª edición 1983, Barcelona: Anthropos.
- Vries, H. de (1901-1903), *Die Mutationstheorie*, Leipzig: Veit & Comp.
- Watson, J.D. (1987), *La doble hélice*, 1ª edición 1968, Barcelona: Salvat.
- Watson, J.D. y F.H.C. Crick (1953), "A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid", *Nature*, April 25, pp. 737-738.
- Weitz, M. (1977), *The Opening Mind*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Weitz, M. (1988), *Theories of Concepts: A History of the Major Philosophical Tradition*, London: Routledge.
- Whewell, W. (1847), *The Philosophy of the Inductive Sciences*, London: John W. Parkes.

Leyes y explicación científicas

Objetivos

1. Que el alumnado comprenda el concepto de ley científica.
2. Que el alumnado comprenda el papel que juegan las leyes en la explicación científica.
3. Que el alumnado identifique distintos patrones de explicación científica.

Introducción

En la unidad anterior examinamos en primer término la estructura lógica de los *conceptos* científicos. De ellos notamos que, siendo las unidades mínimas de significación, no bastan por sí mismos para uno de los usos primarios del lenguaje, tanto científico como ordinario: el de realizar *aserciones* (aseveraciones o afirmaciones), e.e., para decir que ciertas cosas son de cierta manera. Vimos que las unidades aseverativas mínimas no son los conceptos aislados, sino las *proposiciones* o, en términos lingüísticos, los *enunciados*. Allí nos ocupamos de un tipo especial de enunciados científicos –las *hipótesis*–, así como del modo en que éstos se contrastan y evalúan. Ahora nos ocuparemos de otro tipo de enunciados científicos –las *leyes*–, como paso previo al análisis de otro de los conceptos vinculados a la práctica científica –el de *explicación*–, debido al papel especialmente importante que éstas juegan en él.

3.1. Tipos de leyes

Existen distintas tipologías de leyes, dependiendo del criterio que se utilice para establecer la clasificación. A continuación expondremos y comentaremos algunas de ellas.

3.1.1. Leyes naturales (o de la naturaleza) y leyes científicas (o de la ciencia)

En la literatura científica y filosófica se habla muchas veces no sólo de *leyes* a secas, sino también de *leyes naturales*, o *de la naturaleza*, por un lado, y de *leyes científicas*, o *de la ciencia*, por el otro. Dichas expresiones, además, suelen utilizarse como si las pertenecientes a un par fueran intercambiables por las pertenecientes al otro, e.e., como si fueran sinónimas o poseyeran el mismo significado. Sin embargo, nosotros consideramos conveniente distinguir el primero de los pares del segundo de ellos, ya que corresponden a enfoques o

perspectivas diferentes: el primero a un enfoque de tipo *ontológico* –correspondiente a cómo son las cosas mismas– y el segundo a uno de tipo *epistemológico* –centrada en lo que conocemos–. Es así que, si bien todas las expresiones se refieren a regularidades, “leyes naturales” y “leyes de la naturaleza” (expresiones que tienen una larga historia que se retrotrae a un tiempo en que la gente pensaba a la naturaleza como obedeciendo las leyes de su Creador de un modo similar a como los individuos obedecían las leyes impuestas por su monarca) lo hacen de *aquellas regularidades empíricas que gobiernan el mundo natural que nos rodea, independientemente de si los seres inteligentes poseen o no conocimiento de esas regularidades o de si ha sido desarrollada una representación lingüística apropiada o no* para al menos algunas de esas regularidades, mientras que “leyes científicas” y “leyes de la ciencia” lo hacen de *aquellas regularidades del mundo natural que son conocidas por nosotros y que han sido puestas en apropiadas formas lingüísticas (enunciados)*. Algunos filósofos han sostenido que un tratamiento filosófico de las leyes debe ser dado sólo para las leyes de la naturaleza y no para las leyes de la ciencia. Por nuestra parte, consideramos más apropiado referirnos a las leyes de la ciencia que (sólo) a las leyes de la naturaleza, debido a que, en todo caso, son las leyes de la ciencia las que nos proveerían importantes claves para la comprensión de lo que es una ley de la naturaleza. Otro modo de plantear la relación existente entre leyes naturales (o de la naturaleza) y leyes científicas (o de la ciencia) es considerar a estas últimas como las *formulaciones lingüísticas* mismas, enunciadas, afirmadas o aseveradas por los científicos en un momento determinado (y que, siguiendo la terminología propuesta por [Nelson Goodman](#), son denominadas “enunciados legaliformes” o, lo que es lo mismo, “enunciados de forma legal”), y a las leyes naturales (o de la naturaleza) como a los hechos *referidos* o a las proposiciones *expresadas* por aquéllas. De aquí en adelante, cuando hablemos de “leyes”, lo estaremos haciendo, salvo indicación en contrario, acerca de “leyes científicas” o “leyes de la ciencia”, entendidas como *enunciados que se refieren a las regularidades conocidas por nosotros*.

Goodman, N., “Los condicionales contrafácticos”, *Cuadernos de Epistemología* 12, Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, 1965.

3.1.2. Leyes de sucesión (o causales) y leyes de coexistencia (o funcionales)

Otra clasificación de las leyes las distingue, haciendo referencia a su forma temporal, en leyes de sucesión (a veces denominadas “causales”) y leyes de coexistencia (o “funcionales”). Si consideramos que los objetos que componen un sistema (p.e. un gas o el sol y la tierra) pueden relacionarse de diversas maneras y denominamos a cada una de esas maneras “estados” del sistema, podemos caracterizar a las *leyes de sucesión* como *aquellas que se refieren a la sucesión o transición entre estados* y a las *leyes de coexistencia* como *aquellas que se refieren a estados temporalmente simultáneos*. Las primeras conectan las propiedades de un sistema en un determinado tiempo con las propiedades de ese sistema en un tiempo anterior o posterior. Ejemplo de ello lo serían las *leyes acerca del movimiento de los planetas*, que nos permiten, dadas la posición y velocidad de un planeta en un momento dado, determinar su posición y velocidad en otro momento, tanto anterior como posterior. Cuando se considera que las leyes de sucesión contienen o expresan un *vínculo causal* (sobre el que aquí no ahondaremos) entre una propiedad del sistema en un momento (condición antecedente) y las otras propiedades del sistema en un momento posterior (resultado-consecuente), éstas

se denominan “leyes causales”. Por otro lado, las leyes de coexistencia establecen una relación entre las características de un sistema que aparecen de manera simultánea. Ejemplo de ello lo constituyen la *ley de los gases* o *ley de Boyle*, que pone a la presión, el volumen y la temperatura en relación los unos con los otros, estableciendo que para cada cantidad de gas contenida en un recipiente a una temperatura constante, cualquier disminución del volumen aumenta proporcionalmente la presión, e, inversamente, cualquier incremento en la presión disminuye el volumen. Este tipo de leyes también se denominan “funcionales”, porque en ellas las propiedades o valores del sistema covarían unos en función de los otros.

3.1.3. Leyes probabilistas (o estadísticas) y leyes no-probabilistas (o deterministas)

La siguiente distinción entre leyes toma en cuenta el hecho de que en ellas se haga referencia explícita o no a la probabilidad. Si se lo hace, la ley será considerada una *ley probabilista* (a veces también denominada “estadística”); si no se hace referencia a la probabilidad, la ley será considerada *no-probabilista* o, como también se dice, “determinista”. Cuando la ley es probabilista la transición o coexistencia entre estados se establece sólo con cierta probabilidad p (en donde $0 < p < 1$). Ejemplo de ley probabilista lo constituye la ley de la genética de poblaciones conocida con el nombre de *ley de Hardy-Weinberg*, que establece que la frecuencia de dos alelos (a y a') de generación en generación en una población permanecerá constante, a menos que se vea afectada por la inmigración, la mutación, la selección, el cruzamiento no azaroso o por errores de la prueba. Cuando la ley es no probabilista, ésta establece lisa y llanamente la transición de un estado del sistema a otro. Ejemplo de ley no-probabilista lo es la *segunda ley de Newton*, que en su formulación original afirma que “El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza”.

► Newton, I., *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*, Madrid: Editora Nacional, 1982, p. 237.

3.1.4. Leyes cualitativas y leyes cuantitativas

La última distinción entre leyes a la que aludiremos es aquella que se realiza con relación a los conceptos utilizados. Si la ley utiliza en su formulación sólo términos que expresan conceptos cualitativos o clasificatorios, ésta será una *ley cualitativa*; pero si en ésta también se utilizan términos que expresan conceptos cuantitativos o métricos, ésta será una *ley cuantitativa*. Ejemplo de ley cualitativa lo es la *ley de Dollo acerca de la irreversibilidad*, que establece que las estructuras que han sido perdidas en el transcurso de la evolución, nunca pueden ser readquiridas exactamente de la misma manera. Mientras que ejemplo de leyes cuantitativas lo es la *ley de Snell*, que afirma que, cuando un rayo de luz incide sobre una superficie que separa dos medios, el seno del ángulo de incidencia es proporcional al seno del ángulo de refracción.

3.2. El concepto de ley científica

A pesar de que desde al menos 1930 se discute el problema de la legalidad –e.e. el problema de encontrar los criterios o las condiciones (tanto necesi-

rias como suficientes) que debería satisfacer un enunciado para que pudiera ser considerado, o que pudiera funcionar como, una ley—, todavía no puede hablarse de que se haya encontrado una solución generalmente aceptada. Sin embargo, que aun no dispongamos de una elucidación plenamente satisfactoria del concepto de ley científica no significa que todo lo realizado hasta el momento en ese sentido haya sido en vano o que ahora no “separamos más” que antes acerca de qué es, y cómo funciona, una ley. A continuación expondremos y discutiremos algunas de las condiciones avanzadas para distinguir los enunciados que son legaliformes de los que no lo son, que se supone se deberían cumplir en las leyes no-probabilistas o deterministas.

3.2.1. Condición de verdad

Una condición que se ha propuesto con la finalidad de delimitar la clase de los enunciados que deberían ser considerados leyes es la de que éstos sean verdaderos. Sin embargo, esta condición difícilmente puede ser interpretada de manera plausible, ya sea como condición suficiente o como condición necesaria. La verdad no es una condición suficiente para que un enunciado sea considerado una ley, debido a que, independientemente de la *problemática predicación o justificación de la verdad* de cualquier enunciado o de su mera *aceptación “como si fuera verdadero”*, hay una enorme cantidad de enunciados que son verdaderos o son aceptados como tales, pero que no nadie consideraría como leyes. Ejemplo de ello lo constituiría el siguiente enunciado: “este es un texto para el curso virtual de filosofía de la ciencia”. Por otro lado, la verdad tampoco parece ser una condición necesaria, ya que hay cierto número de enunciados en la historia de la ciencia que fueron, en sentido estricto, considerados como refutados o falsados, pero cuya legalidad no puede ponerse en duda. Ejemplo de ello lo son las llamadas “leyes de la mecánica de Newton”. Por último, hay otra circunstancia que iría en contra de esta condición y es que las leyes contienen diversas *idealizaciones* que hacen que sólo valgan de manera *aproximada* (estos rasgos de idealización y aproximación, por otra parte, se encuentran presentes en los distintos niveles de la conceptualización científica: en los datos empíricos, en las hipótesis, en las leyes y en las teorías). Lo anterior tiene como consecuencia que las leyes sean o bien “vacuamente verdaderas” (pero que no nos hablen de nuestro mundo) o bien “irremediablemente falsas” (en la medida que pretendan hablar “literalmente”, e.e. con *total* precisión, del mundo). Consideremos la *primera ley de Newton* o *ley de inercia*, que establece que “Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas”.

Newton, I., *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*, Madrid: Editora Nacional, 1982, p. 237.

Esta ley es siempre verdadera y, por lo tanto, “vacuamente verdadera”. Para ver por qué, considerémosla con mayor detenimiento. La ley de inercia establece que todos los cuerpos para los cuales la suma de las fuerzas externas sea nula mantienen constante su velocidad. Este es un enunciado compuesto, conocido con el nombre de “enunciado condicional”, cuantificado universalmente, que posee la forma “Todos los *F* son *G*” o “para todo objeto considerado, si posee la propiedad *F*, entonces también posee la propiedad *G*” (en donde la parte luego del cuantificador universal “todos” o “para todos”, formada por la expresión “si...”, es el *antecedente* del condicional, y la segunda, formada por la expresión “entonces...”, el *consecuente*). Sin embargo, recordemos que la lógica nos enseña que los enunciados condicional-

les son falsos sólo en el caso en que el antecedente del condicional sea verdadero y el consecuente falso. Debido a que la propiedad F seguramente no se aplica a ningún individuo, ya que en el mundo natural conocido no hay cuerpos sobre los que no actúen fuerzas, el antecedente es siempre falso y, por consiguiente, la ley de inercia es siempre verdadera o “vacuamente verdadera”. Consideremos ahora la *segunda ley de Kepler* o *ley de las áreas iguales*: “la velocidad orbital de cada planeta varía de tal forma, que una línea que una el sol con el planeta en cuestión barre áreas iguales, sobre la elipse, en intervalos de tiempos iguales”. Esta ley parece ser “irremediabilmente falsa”. Esto se debe a que podemos ver que es un caso en el que, sometida a un análisis similar al de la ley de inercia, pero a diferencia de lo que ocurre en ésta, el predicado F (“intervalos de tiempo iguales”) se aplica, pero G (“barre áreas iguales”) no, ya que los planetas no se mueven *exactamente* como afirma dicha ley, pues están sometidos a fuerzas que ejercen otros astros. De este modo, al ser el antecedente verdadero y el consecuente falso, la ley es siempre falsa o “necesariamente falsa”.

3.2.2. Condición de universalidad

Otra condición que se suele mencionar respecto de los enunciados de leyes es la de tener la *forma sintáctica de enunciados universales*, e.e. la de ser *generalizaciones* o *enunciados generales que sólo contienen cuantificadores universales*. La forma canónica estándar de un enunciado de ley es la señalada más arriba: “Todos los F son G ” o, de manera equivalente, “para todo objeto considerado, si posee la propiedad F , entonces también posee la propiedad G ” (teniendo así la forma de *enunciados condicionales cuantificados universalmente*). Utilizando los recursos proporcionados por la lógica, los enunciados de esta forma se acostumbran simbolizar como $(x)(Fx \rightarrow Gx)$ (en donde el primer par de paréntesis simboliza al cuantificador universal, que se lee “para todo” o “dado cualquier”, y la x es una variable, o letra esquemática, que puede ser sustituida por, o que está en lugar de, (los nombres de) los objetos del dominio). La condición de universalidad, sin embargo, no debería ser considerada una condición *suficiente* para la legalidad de un enunciado, ya que hay enunciados que poseen esta forma y que difícilmente pudieran ser considerados leyes. Este es el caso de aquellas *generalizaciones* que, para distinguirlas de las *legales*, son llamadas “generalizaciones *accidentales*”. Consideremos el siguiente ejemplo clásico: “Todas las monedas de mi bolsillo son de plata”. Este enunciado tiene la forma universal requerida para las leyes: “para todo objeto de mi bolsillo, si éste es una moneda, entonces es de plata”, pero no es una ley –ya que se aplica sólo a las monedas de mi bolsillo, en donde, por otro lado, podría haber monedas de otro material–, sino una *generalización accidental*. Pero si la condición de universalidad no es una condición suficiente para la legalidad, sí parece al menos ser una condición *necesaria*. Sin embargo, tanto éste como todo otro *criterio sintáctico* se enfrenta con el problema que plantea la existencia de enunciados lógicamente equivalentes con aquellos considerados: éstos poseen por lo general una forma lógica distinta. En este caso particular, hay que considerar la existencia de enunciados que son lógicamente equivalentes con los enunciados de forma universal, pero que poseen una forma lógica diferente a la canónica estándar de los enunciados de ley, ya sea sin afectar a la universalidad (p.e. $(x)(\neg Fx/Gx)$) como afectándola (p.e. $(\exists x)Fx \rightarrow (\exists x)Gx$), en donde

‘ \exists ’ simboliza al “cuantificador existencial” y se lee: “hay”, “existe” o “para algunos”). Como intento de solución a esta dificultad es que se ha propuesto reformular la condición de universalidad de la siguiente manera: o bien las leyes mismas son enunciados universales, o bien, haciendo referencia a equivalencias lógicas, se considera, en una primera posibilidad, que todos los enunciados lógicamente equivalentes con ellas deben ser universales o, en una segunda posibilidad, que las leyes deben ser enunciados lógicamente equivalentes con un enunciado universal.

3.2.3. Condición de irrestricción

Para poder distinguir las generalizaciones legales de las generalizaciones accidentales, al criterio sintáctico proporcionado por la condición de universalidad se le añaden consideraciones *semánticas* relativas al *ámbito de aplicación* de las leyes. De este modo, a un enunciado de ley no sólo se le exige que sea un enunciado universal (o que todas sus equivalencias lógicas sean universales o que sea equivalente con uno que lo es), sino que se le exige que además sea “estrictamente” universal.

Lo cual significa que el ámbito de aplicación de las leyes debe ser *ilimitado* –e.e. que las leyes se deben aplicar en todo tiempo y lugar– o al menos *irrestricto* –e.e. que no debe restringirse su ámbito de aplicación a una región espaciotemporal determinada–, sin hacer referencia alguna (implícita o explícita) a objetos particulares, lugares o momentos específicos, prohibiendo el uso de nombres propios o de una referencia tácita a nombres propios y sólo permitiendo la utilización de predicados “puramente universales en carácter”, también llamados “puramente cualitativos”.

Sin embargo, esta condición tampoco está libre de dificultades. Por un lado parece ser demasiado débil, aceptando como leyes enunciados universalmente irrestrictos no legales, y por otro demasiado fuerte, excluyendo leyes claramente aceptables. En relación con el primero de los puntos, basta considerar que de acuerdo con él, enunciados como el siguiente contarían como una ley: “Todo diamante tiene una masa menor a 100.000 k”. En cuanto al segundo, habría que considerar que aun cuando las leyes de algunas teorías cosmológicas sólo sean aplicables a la totalidad del universo y del espacio-tiempo, al igual que también lo serían, en caso de existir, las de la “gran teoría unificada” (GUT) –que unificaría a las dos teorías físicas más importantes: la relatividad y la cuántica–, esta situación no es la habitual; antes bien, las leyes normalmente se aplican a sistemas parciales y bien delimitados, y no un único sistema “cósmico”; algunas incluso involucran de modo esencial regiones espacio-temporales particulares (p.e. leyes de la geología que sólo valdrían en la tierra o leyes que se refieren a los primeros minutos del universo) o contienen nombres propios que hacen referencia a objetos particulares (como la anteriormente mencionada segunda ley de Kepler, en donde se menciona explícitamente al sol). Como intento de salvar este criterio se propuso diferenciar entre dos tipos de leyes genuinas: por un lado, leyes de alcance ilimitado, irrestricto o *fundamentales* y, por otro lado, leyes de alcance limitado, restringido o *derivadas*. Según esta propuesta de análisis, leyes como las de Kepler –de alcance limitado o restringido– se *derivarían* o deducirían lógicamente de leyes fundamentales –de alcance ilimitado o irrestricto– como las de Newton. En contra de dicha propuesta podrían mencionarse razones tanto históricas como sistemáticas. En relación con las histó-

Hempel, C.G., *La explicación científica*, Buenos Aires: Paidós, 1979, p. 179.

Popper, K., *La lógica de la investigación científica*, Madrid: Tecnos, 1962.

Hempel, C.G. y P. Oppenheim, “La lógica de la explicación”, en Hempel, C.G., *La explicación científica*, Buenos Aires: Paidós, 1979, pp. 247-294.

ricas, habría que mencionar que Kepler propuso sus leyes, y fueron consideradas como tales, y no meramente como leyes derivadas, incluso antes de que Newton propusiera las suyas, e.e. antes de que existieran las leyes de las cuales se supone que se derivarían. Respecto de las sistemáticas, tendría que considerarse que las denominadas “leyes derivadas” en realidad *no se derivan o deducen literalmente* de las leyes fundamentales, al menos no se derivan o deducen *sólo* de ellas, sin considerar algunas premisas adicionales, o de un modo *exacto*.

3.3. La explicación científica

Desde que el hombre es hombre ha tenido el profundo deseo de conocer y de comprenderse a sí mismo y al mundo que lo rodea. Para ello no sólo ha registrado o tomado nota de lo que ocurre, sino que ha tratado (y trata) de dar cuenta de ello, es decir, no sólo se ha limitado (o limita) a *describir*, sino que ha intentado (e intenta) *explicar* los hechos más variados. Y lo mismo vale para la ciencia: ésta no se ha limitado (o limita) a decir *que* ocurren ciertas cosas o *que* ciertas cosas son de cierta manera, sino que ha intentado (e intenta) decir *por qué* ocurren ciertas cosas o *por qué* ciertas cosas son de cierta manera. Al menos desde los tiempos de Aristóteles los filósofos han tratado de proporcionar un análisis satisfactorio del concepto de explicación científica. En el siglo XX los mayores esfuerzos en ese sentido están indisolublemente ligados al nombre y obra de Carl G. Hempel. Sus trabajos, solo o en colaboración con Paul Oppenheim, brindan una elucidación que fue, desde su surgimiento en los años 40 hasta entrados los años 60, aceptada sin discusión por la comunidad filosófica. Desde entonces se han desarrollado otras propuestas de análisis (de relevancia estadística, pragmático, causal y de unificación teórica), siempre teniendo al análisis hempeliano como trasfondo, que pueden ser consideradas en parte contrapuestas y en parte complementarias entre sí. En este apartado trataremos de decir con alguna precisión en qué consiste la *explicación científica*. Para ello expondremos en primer término el modelo de cobertura legal desarrollado por Hempel. Luego presentaremos el análisis de los aspectos pragmáticos de la explicación realizado por Bas van Fraassen. Por último nos referiremos brevemente al análisis elaborado por Larry Wright de las explicaciones teleológicas y funcionales.

3.3.1. Explicación y cobertura legal inferencial

En una primera aproximación, podría decirse que una explicación científica es una respuesta a una pregunta concerniente al porqué, e.e. una respuesta a preguntas del tipo “¿por qué...?”, por ejemplo: “¿Por qué los planetas se mueven en órbitas elípticas, uno de cuyos focos lo ocupa el sol?”. Esto hay que entenderlo, sin embargo, en un sentido amplio, ya que no toda pregunta “¿por qué...?” requiere una explicación (por ejemplo la pregunta “¿por qué no vamos al cine el sábado?”) y no toda *pregunta que requiere explicación* tiene la forma específica “¿por qué...?”, pues algunas preguntas que requieren explicación, y en cuya respuesta se dan razones o se proporciona comprensión, tienen la forma “¿qué...?” o “¿cuál...?”, aun cuando pueden ser fácilmente reformuladas como preguntas “¿por qué...?”, (por ejemplo “¿qué causó el atentado contra la AMIA?” o “¿cuál fue la razón por la cual

► Hempel, C.G., *La explicación científica*, Buenos Aires: Paidós, 1979, pp. 233-485.

► Van Fraassen, B., *La imagen científica*, México: Universidad Nacional Autónoma de México/Paidós, 1996.

► Wright, L., “Functions”, *Philosophical Review* 82 (1973): 139-168.
Wright, L., *Teleological Explanations*, Berkeley: University of California Press, 1976.

ocurrió el el atentado contra la AMIA?”), otras de la forma “¿cómo...? no pueden ser así reformuladas naturalmente (por ejemplo “¿cómo se transmiten los caracteres biológicos de los padres a sus descendientes?”).

A fin de presentar la elucidación realizada por Hempel del concepto de explicación científica, es necesario introducir alguna terminología técnica, habitual en este dominio. Se denomina “*explanandum*” a aquello que requiere de una explicación (o al enunciado que describe aquello que requiere de una explicación), “*explanans*” a aquello que proporciona la explicación (o al/a los enunciado/s que describe/n aquello que proporciona la explicación), y “*relación explicativa*” a aquella relación que se da entre el *explanans* y el *explanandum* y que nos permite considerar que el primero explica al segundo.

Si las explicaciones constituyen respuestas a preguntas “¿por qué...?” en un sentido amplio, lo hacen mostrando que, dados ciertos hechos (“*explanans*”), se torna “esperable” que ocurra aquello que requiere explicación (“*explanandum*”). Para Hempel, que uno “espere” que el *explanandum* ocurra significa que ese hecho se infiere del *explanans*. Por ello, la idea básica del análisis hempeliano es que *las explicaciones científicas son argumentos en los que el explanandum se infiere del explanans*. Que se dé una relación inferencial entre *explanans* y *explanandum* es una de las condiciones que debe satisfacer una explicación para ser considerada tal. Sin embargo, no es la única, ya que hay que tener en cuenta que no toda inferencia constituye una explicación. Como condición adicional Hempel exige que *en el explanans figure al menos un hecho general* de cierto tipo (aquellos a los que se refieren los enunciados de ley) y que éste sea indispensable para la inferencia del *explanandum*. De este modo el *explanans* debe *contener* al menos una ley científica, pero no debe hacerlo “accidentalmente”, sino “*esencialmente*”, lo cual significa que sin su efectiva utilización no puede inferirse el *explanandum*. El núcleo del “*modelo de cobertura legal inferencial*” propuesto por Hempel viene dado por las condiciones anteriormente mencionadas:

- (1) La relación de explicación es una relación de inferencia lógica, el *explanandum* se infiere del *explanans*.
- (2) El *explanans* contiene esencialmente al menos una ley, y todos los hechos generales que contenga esencialmente deben ser leyes.

Estas condiciones, denominadas “condiciones lógicas generales de adecuación”, caracterizan lo que es una *explicación potencial* o posible. Para poder caracterizar una explicación como *fácticamente correcta*, es necesario considerar ciertas condiciones generales adicionales. Dichas condiciones, denominadas “condiciones empíricas generales de adecuación”, son las siguientes. En primer término, tiene que cumplirse que el *explanandum* sea verdadero, es decir, que lo explicado sea algo que efectivamente ocurre. Eso hace que la explicación pase de ser potencial a ser *real*. Por último, para que la explicación, además de ser real, sea *fácticamente correcta*, se requiere que el *explanans* sea verdadero. Para que una explicación sea fácticamente correcta se requiere entonces que ocurran tanto el hecho que queremos explicar como los hechos que los explican. Hempel mismo reconoce que esta exigencia tiene como consecuencia indeseable la de descalificar explicaciones intuitivamente buenas o que fueron aceptadas como tales en determinado momento, por ejemplo, aquellas en donde se ha comprobado que parte del *explanans*, digamos alguna ley, es falsa. Aquí, sin embargo, dejaremos la

discusión las condiciones empíricas de adecuación de lado. En cuanto a las condiciones (1) y (2) mencionadas más arriba, éstas caracterizan un patrón general de análisis, que se desarrolla después de modo específico en los distintos tipos de explicación. Éstos se caracterizan mediante ciertas condiciones adicionales: si la relación explicativa inferencial es deductiva o inductiva, si alguna de las leyes contenida en el explanans es una ley probabilista (o estadística) y si el explanandum es un hecho particular o general. Las distintas combinaciones admisibles dan lugar a cuatro tipos de explicación tal como lo muestra la figura 1: el nomológico deductivo particular (NDP), el nomológico deductivo general (NDG), el deductivo estadístico (DE) y el inductivo estadístico (IE).

Figura 1

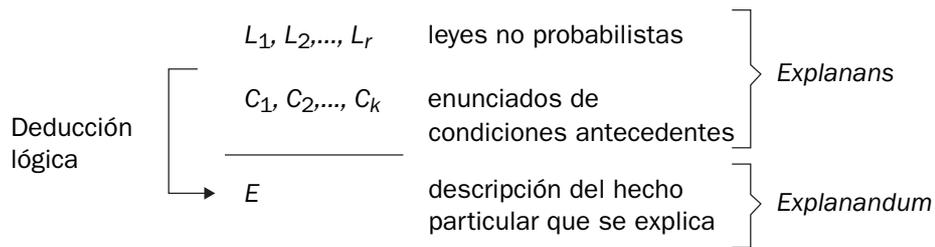
Leyes	Hechos particulares	Regularidades generales
Leyes no-probabilistas (deterministas)	NDP Nomológico-deductiva particular	NDG Nomológico-deductiva general
Leyes probabilistas (estadísticas)	IE Inductivo-estadística	DE Deductivo-estadística

Explicación nomológico-deductiva particular (NDP)

Este tipo de explicación es el más habitual, y habiendo sido el primero de los analizados por Hempel, se constituye en el tipo en base al cual se desarrollan los siguientes. (En él se pretende explicar un hecho particular. En este tipo de explicaciones, se hace uso de al menos una ley no probabilista. Y se plantea que la relación inferencial entre explanans y explanandum sea la relación de deducción. Sin embargo, para que el explanandum se deduzca lógicamente del explanans, éste deberá contener al menos un hecho particular (los hechos particulares o los enunciados que se refieren a ellos contenidos en el explanans se denominan condiciones antecedentes. Resumiendo, las condiciones adicionales a (1) y (2) que caracterizan este tipo de explicaciones son las siguientes:

- (3) El explanandum es un hecho particular.
- (4) Las leyes del explanans son no probabilistas (o deterministas).
- (5) La relación de explicación es la de inferencia lógica deductiva.
- (6) El explanans incluye, además de las leyes, determinados hechos particulares, las condiciones antecedentes.

Esquemáticamente, este tipo de explicaciones puede representarse de la siguiente manera:



En la última de las condiciones adicionales aparece mencionado otro componente del explanans, además de las leyes, a saber: las *condiciones antecedentes*. Éstas son hechos particulares (o enunciados que se refieren a esos hechos) que se requieren a fines de poder deducir lógicamente el explanandum del explanans, en los casos en que aquél sea un hecho particular (o un enunciado que se refiere a él).

Según Hempel, éste es el modo característico en que las teorías no estadístico-probabilistas explican los fenómenos empíricos particulares, por ejemplo, la explicación que proporciona la mecánica newtoniana de la reaparición de determinado cometa en un lugar o la explicación proporcionada por la mecánica relativista del adelantamiento en el perihelio de Mercurio. Hempel, asimismo, sostiene que hay una *simetría entre explicación y predicción*. Según dicha tesis, la estructura lógica de la explicación de hechos particulares y de la predicción es exactamente la misma; la única diferencia entre ambas es más bien pragmática y tiene que ver con la relación temporal entre la ocurrencia del hecho particular y la construcción del argumento: si se sabe que ya ha ocurrido el hecho descrito en el explanandum y se buscan las leyes y las condiciones antecedentes, se trata de una explicación; si, por el contrario, se dispone ya de esos enunciados y se deduce la ocurrencia del hecho en cuestión antes del momento de su presunta aparición, se está en presencia de una predicción.

Hempel también señaló desde el primer momento que hay una estrecha relación entre explicación y causalidad, pero considera que el análisis de la explicación no debe hacer referencia a la causalidad. Acepta que muchas explicaciones son de tipo causal y sostiene que, cuando éste es el caso, eso queda incluido en su tratamiento mediante la referencia a las leyes, pues en tales casos las leyes intervinientes serán causales (como ocurre con las leyes de sucesión). Sin embargo, también sostiene que habrá explicaciones no causales. Ello ocurre cuando se usan leyes de coexistencia.

El modelo de explicación nomológico deductivo particular (NDP) ha sufrido numerosas observaciones, críticas y comentarios. Ahora presentaremos algunas de las objeciones que se le han planteado, a través de la presentación de supuestos contraejemplos. Ellas cuestionan que las condiciones dadas (1)-(6) sean necesarias o suficientes. Varias de ellas ponen en duda el carácter explicativo de determinadas inferencias, señalando que no incluyen los elementos causales apropiados.

1ª objeción: Simetría. Contraejemplo: el asta y su sombra. Una bandera flamea sobre un asta de 30 m. de altura. El sol, que se encuentra con un ángulo de elevación de $53,13^\circ$, brilla fuertemente. Si uno se pregunta

“¿por qué la sombra tiene ese largo?”, la respuesta es sencilla. De la elevación del sol, la altura del asta y la propagación rectilínea de la luz podemos deducir, con la ayuda de un poco de trigonometría, el largo de la sombra. El resultado es una explicación NDP que la mayoría de nosotros aceptaría como correcta. Si, por el contrario, preguntamos “¿por qué el asta tiene una altura de 30 m.?”, podemos construir un argumento similar y deducir la altura del asta a partir del largo de la sombra y de la elevación del sol; o preguntamos “¿por qué el sol se encuentra en ese lugar?”, podemos deducir la posición del sol a partir del largo de la sombra y de la altura del asta. Pero aun cuando los argumentos utilizados en estos últimos casos sean simétricos al primero, y se satisfagan todas las condiciones establecidas por Hempel para una explicación NDP, difícilmente puedan ser considerados como proporcionando una explicación de la altura del asta o de la posición del sol. Aquí se muestra que podemos inferir *que* el asta tiene tal altura o *que* el sol está a tal altura en el cielo, pero *no por qué*. En general, podemos explicar efectos citando sus causas, pero no podemos explicar causas en términos de sus efectos.

2ª objeción: Efectos de causa común. Contraejemplo: el barómetro y la tormenta. Dado un descenso brusco en la lectura de un barómetro que funciona correctamente, podemos predecir que una tormenta se acerca, pero la lectura del barómetro no explica la tormenta. En realidad, un brusco descenso en la presión atmosférica, registrada por el barómetro, explica tanto la tormenta como la lectura del barómetro. Muchas veces encontramos dos efectos con una causa común que están relacionados entre sí. En el contraejemplo presentado, la tormenta y la lectura del barómetro tienen como causa común el brusco descenso de la presión atmosférica. En tales casos no explicamos un efecto por medio del otro.

3ª objeción: Precedencia temporal de las condiciones antecedentes. Eclipse solar. De las posiciones actuales de la tierra, la luna y el sol, y las leyes de la mecánica celeste podemos deducir la ocurrencia de un eclipse total de sol antes de que éste tenga lugar. De igual modo, de las posiciones actuales de la tierra, la luna y el sol, y las leyes de la mecánica celeste podemos deducir un eclipse total de sol después de que éste hubiera ocurrido. La mayoría de nosotros diría que, mientras que el primer caso constituye una explicación legítima, el segundo, no, pues es posible explicar un eclipse en términos de condiciones antecedentes, pero no es posible explicarlo en términos de condiciones subsecuentes: las causas preceden a sus efectos y no los siguen.

4ª objeción: Irrelevancia. Contraejemplo: el hombre y la píldora. Un hombre explica su fracaso en haber quedado embarazado durante el año pasado sobre la base de que estuvo tomando regularmente las píldoras anticonceptivas de su mujer y de que todo hombre que tome regularmente píldoras anticonceptivas evitará quedar embarazado. Este contraejemplo muestra que es posible construir argumentos deductivos válidos con premisas verdaderas en los que algún hecho afirmado por las premisas sea realmente irrelevante.

5ª objeción: Generalizaciones “esenciales” inesenciales. NDP tiene como consecuencia indeseable que se puede explicar cualquier hecho particular mediante una ley completamente independiente del hecho, e.e. una ley sin relación alguna con las entidades involucradas en el hecho. Supongamos que Pa sea el explanandum y sea $(x)(Ax \rightarrow Bx)$ una ley cualquiera en la que no intervienen ni el individuo a ni la propiedad P . El siguiente argumento satisface NDP:

$$\frac{\begin{array}{l} (x)(Ax \rightarrow Bx) \\ (Ac \rightarrow Bc) \rightarrow Pa \end{array}}{Pa}$$

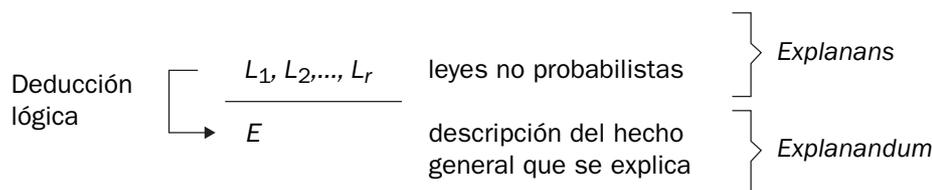
6ª objeción: Explicaciones teleológicas y funcionales. Los casos anteriores son casos que se ajustan a NDP, pero que no deberían ser considerados auténticas explicaciones. Las explicaciones teleológicas y funcionales, por el contrario, parecen constituir genuinas explicaciones y que (en la medida en que explican hechos particulares) no satisfacen NDP. No lo satisfacen debido a que, aparentemente al menos, el explanandum no se infiere del explanans, sino que (parte de) el explanans se infiere del explanandum (y del resto del explanans). Explicamos el viaje de Carlos a Alemania por su finalidad de continuar sus estudios de doctorado o el latido del corazón por su función en la circulación de la sangre. Volveremos sobre este tipo de explicaciones más adelante, cuando presentemos el análisis que de él realiza Larry Wright.

3.3.1.2. Explicación nomológico-deductiva general (NDG)

A veces aquello que requiere una explicación no es un hecho particular, sino uno general no probabilista. Según este análisis, los hechos generales no probabilistas (aquellos a los que se refieren las leyes no probabilistas) se explican derivándolos de otros hechos no probabilistas más generales (a los que se refieren otras leyes no probabilistas más generales). Este tipo de explicaciones se caracteriza por satisfacer, además de (1) y (2), las siguientes condiciones adicionales:

- (7) El explanandum es un hecho general no probabilista, referido mediante una ley no probabilista.
- (8) El explanans contiene esencialmente sólo leyes no probabilistas. Ninguna de las leyes del explanans es el explanandum mismo.
- (9) La relación de explicación es la de inferencia lógica deductiva.

Esquemáticamente:



Ejemplos de este tipo de explicación lo constituyen las leyes de Kepler y la ley de caída libre de Galileo que se explican por medio de las leyes de la mecánica gravitatoria newtoniana. Hempel señala, sin embargo, que en casos como estos, en los cuales E es una uniformidad empírica expresada por una ley general no probabilista, la relación de inferencia deductiva es sólo *aproximada*: el explanans no implica hablando estrictamente al explanandum; más bien implica que las leyes descritas en el explanandum sólo son válidas dentro de un ámbito limitado, y aun dentro de éste sólo aproximadamente. Esto es lo que ocurre con las leyes de Kepler, pues la teoría newtoniana implica que puesto que un planeta está sujeto a la atracción gravitatoria del sol como de los otros planetas, su órbita no será exactamente elíptica, sino que presentará ciertas perturbaciones, y con la ley de Galileo, pues la ley newtoniana de la gravedad implica que la aceleración de un cuerpo en caída libre no es constante, como afirma la ley de Galileo, sino que sufre un aumento muy pequeño pero constante a medida que el cuerpo se acerca al suelo, contradiciéndola, aunque mostrando que ésta se cumple casi exactamente en la caída libre en distancias cortas cercanas a la superficie de la tierra.

El principal problema que se le plantea al análisis que realiza Hempel de las explicaciones NDG es, como él mismo reconoce, el de establecer criterios bien definidos para la inclusividad que excluya los casos de autoexplicación:

7ª objeción: Autoexplicación. En la condición (8) se exige que el explanans esté constituido por leyes y que el explanandum mismo no sea una de ellas. Esto excluye el caso más obvio de autoexplicación, en donde se pretende explicar una ley a partir de sí misma. Sin embargo, (8) no excluye otro caso más sutil de autoexplicación. Consideremos el caso en que el explanans contiene una ley que es la conjunción del explanans con cualquier otra ley, por ejemplo las leyes de Kepler, K , con la ley de Boyle, B . El siguiente argumento satisface las condiciones establecidas para NDG, pero nadie consideraría que éste proporciona una explicación de las leyes de Kepler:

$$\frac{K \wedge B}{K}$$

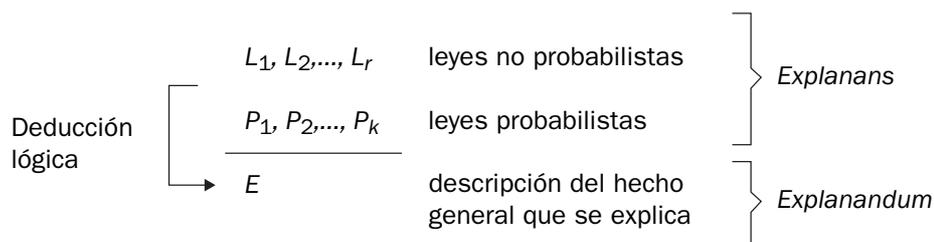
Explicación deductivo estadística (DE)

Cuando lo que se quiere explicar es un hecho general probabilista (al cual se refiere mediante una ley estadístico-probabilista), se requiere que en el explanans, a partir del cual se deduce aquél se deduce, figure al menos una ley probabilista. Este tipo de leyes es menos restrictivo que las leyes no probabilistas: mientras que en éstas se afirma que “Todos los F son G ” o “para todo objeto considerado, si posee la propiedad F , entonces también posee la propiedad G ” (simbólicamente $(x)(Fx \rightarrow Gx)$), en aquéllas se afirma que “la probabilidad de que un hecho de tipo F sea también de tipo G es r ” o “para todo objeto considerado, la probabilidad de que si posee la propiedad F , entonces también posee la propiedad G es r ”, atribuyendo de ese modo una propiedad, no a todos los miembros de una clase, sino a una proporción determinada de sus miembros (en símbolos $((x)(\mathbf{p}(Fx \rightarrow Gx) = r)$ o $\mathbf{p}(G, F) = r$).

Las condiciones adicionales a (1) y (2) son, para este tipo de explicaciones, las siguientes:

- (10) El explanandum es una ley estadístico-probabilista.
- (11) El explanans contiene esencialmente sólo hechos generales y al menos uno de ellos es referido mediante una ley estadístico-probabilista.
- (12) La relación de explicación es la de inferencia lógica deductiva.

Este tipo de explicaciones puede representarse esquemáticamente de la siguiente manera:



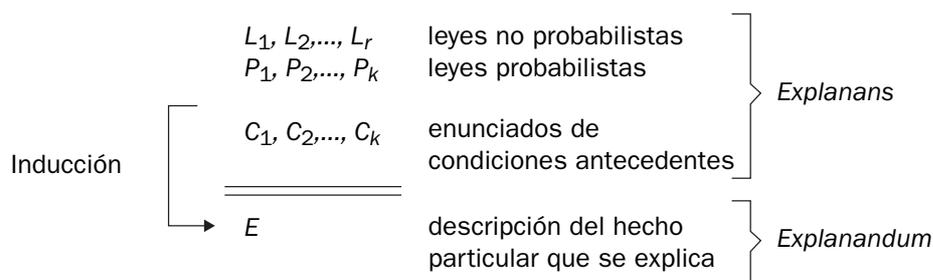
Un ejemplo de este tipo de explicaciones puede ser encontrado en la arqueología. Los arqueólogos usan la técnica de datación mediante carbono radioactivo para determinar la edad de los trozos de madera o carbón descubiertos en sitios arqueológicos. Si se encuentra un trozo de madera que tiene una concentración de C¹⁴ (un isótopo radioactivo del carbono) igual a un cuarto que el de la madera recientemente cortada, se infiere que tiene una antigüedad de 11.460 años. La razón es que la vida media del C¹⁴ es de 5730 años, y es altamente probable que en dos vidas medias se desintegren cerca de tres cuartos de los átomos del C¹⁴.

Explicación inductivo estadística (IE)

En este tipo de explicación se pretende explicar un hecho particular apelando a, al menos, una ley estadístico-probabilista. En estos casos la relación de inferencia entre explanans y explanandum no es deductiva, sino *inductiva*, y de este modo la explicación, si bien hace esperable al hecho particular, no lo hace *totalmente* esperable, sino sólo *altamente* esperable. Este tipo de explicaciones se caracteriza por satisfacer, además de (1) y (2), las siguientes condiciones adicionales:

- (13) El explanandum es un hecho particular.
- (14) El explanans contiene esencialmente al menos una ley estadístico-probabilista.
- (15) El explanans incluye, además de las leyes, determinados hechos particulares, las condiciones antecedentes.
- (16) La relación de explicación es la de inferencia lógica inductiva.

Esquemáticamente, este tipo de explicaciones puede representarse de la siguiente manera:



Un ejemplo de este tipo de explicaciones es el siguiente: si preguntamos “¿por qué Juana López se recuperó rápidamente de su infección por estreptococos?”, la respuesta es que recibió una dosis de penicilina y que casi todas las infecciones por estreptococos desaparecen rápidamente luego de la administración de penicilina.

El análisis hempeliano de las explicaciones inductivas se enfrenta a muchas de las dificultades que vimos en las explicaciones nomológico deductivas particulares, o a las versiones inductivas de ellas, y a algunas propias. Veremos ahora dos de las dificultades, una de cada tipo.

8ª objeción: Irrelevancia inductiva. Contraejemplo: la vitamina C y el resfriado común. Esta es la versión inductiva de la objeción de irrelevancia vista en las explicaciones NDP. Podría considerarse una ley que la mayoría de los resfriados tratados con vitamina C desaparecen a la semana. De esta ley, junto con el hecho de que una persona tomó vitamina C la primera semana de su resfriado, se infiere con alta probabilidad que su resfriado desaparecerá a la semana. Sin embargo, esto no se puede considerar una explicación de la cura de esa persona, pues la mayoría de resfriados también desaparecen a la semana sin tomar vitamina C.

9ª objeción: Ambigüedad inductiva. En este tipo de explicaciones Hempel descubrió algo completamente nuevo, sin contraparte en las explicaciones deductivas, a saber: la *ambigüedad explicativa* de las explicaciones IE, lo cual significa que hay argumentos IE con premisas mutuamente compatibles –que pudieran ser todas verdaderas–, pero con conclusiones contradictorias. Volvamos al ejemplo mencionado de la cura de la infección por medio de penicilina. Éste podría esquematizarse del siguiente modo:

(*)Casi todos los casos de infección por estreptococos desaparecen rápidamente después de suministrar penicilina.

Juana López tuvo una infección por estreptococos
Juana López recibió tratamiento con penicilina
Juana López se recuperó rápidamente

Consideremos ahora el siguiente argumento, que se diferencia del anterior en tener una premisa adicional:

(**) Casi todos los casos de infección por estreptococos desaparecen rápidamente después de suministrar penicilina.

Juana López es resistente a la penicilina

Juana López tuvo una infección por estreptococos

Juana López recibió tratamiento con penicilina

Juana López no se recuperó rápidamente

Tanto (*) como (**) son argumentos inductivos válidos con conclusiones contradictorias. Pero el problema no radica allí, ya que esto también puede ocurrir con argumentos deductivos. El problema más bien es que *las premisas de ambos son verdaderas*. Esto no es algo que pueda ocurrir en los argumentos deductivos, pues dos conjuntos de premisas de las que se deducen conclusiones contradictorias no pueden ser verdaderas a la vez, son también contradictorios. La dificultad de la ambigüedad explicativa surge del hecho de que, dado un argumento deductivo válido, el argumento seguirá siendo válido si se añaden premisas, mientras que, dado un argumento inductivo válido, la adición de una premisa puede socavarlo completamente.

Para solucionar este problema Hempel impone a las explicaciones IE un requisito adicional. Como la ambigüedad se debe a que la nueva explicación (**) introduce información adicional relevante respecto de la anterior (*), la idea es imponer alguna restricción en ese sentido. Basándose en los trabajos de Carnap, Hempel pensó en un primer momento en imponer el *requisito de evidencia total* (o *de los elementos de juicio totales*), pero en seguida lo abandonó, al darse cuenta de que era excesivo. Si se exige que el explanans contenga toda la evidencia relevante disponible, también tendrá que incluir al explanandum, convirtiendo de ese modo al argumento inductivo en uno deductivo, y a la explicación en una autoexplicación.

La condición más débil que Hempel impone sobre la información disponible en el momento de la explicación es conocida con el nombre de *requisito de máxima especificidad*. Si K es el conjunto de hechos aceptados en el momento de la explicación, $p(G, F) = r$ y $p(G, H) = s$ son leyes estadístico-probabilistas, el problema de la ambigüedad surge cuando K tiene subconjuntos que dan alto apoyo a conclusiones contrarias, lo cual sucede fundamentalmente cuando las leyes son tales que r es cercano a 1, s es cercano a 0, y la evidencia contiene tanto Fa como Ha . La idea es no considerar explicativas a las inferencias que se encuentren en esta situación cognoscitiva. RME establece lo siguiente:

RME Sea S el explanans, que incluye la ley $p(G, F) = r$ y el hecho Fa :

Si $S \wedge K$ implica que a pertenece también a alguna otra clase (tiene también alguna otra propiedad) G que es subclase de F (e.e. $H = F \wedge E$, para alguna propiedad E) entonces $S \wedge K$ implica $p(G, F) = p(G, H)$.

Esto es, la clase de referencia F es, relativamente a K , (*epistémicamente*) *homogénea*; según el conocimiento expresado en K , F no contiene subclases en las que la probabilidad de ser G varíe respecto de la que se da en F . En este sentido, el explanans contiene toda la información relevante: el resto de información disponible es irrelevante a efectos explicativos, añadirla no cambia las cosas *por lo que al hecho a explicar se refiere*. Una inferencia inductiva se considera *racionalmente aceptable como explicación en la situación cog-*

noscitiva representada por K si (además de las condiciones anteriores) satisface RME. Esta condición introduce una asimetría fundamental entre las explicaciones IE y las NDP. Una inferencia inductiva es una explicación inductiva o no sólo *relativamente a cierta situación cognoscitiva K*. En las explicaciones IE no interviene sólo el explanandum, el explanans y la relación explicativa, interviene además un cuerpo de evidencia disponible *K*: S explica e relativamente a *K*.

3.3.2. Pragmática de la explicación

Habíamos visto que el término “explicación” se utiliza para hablar a veces a entidades lingüísticas (e.e. a conjuntos de enunciados que se refieren a hechos) y a veces a entidades no-lingüísticas (los hechos mismos). Cuando pensamos en términos de la actividad humana de explicar algo a alguna persona o grupo de personas, estamos considerando la conducta lingüística. Explicar algo a alguien involucra emitir o escribir enunciados. En esta sección veremos algunos aspectos del proceso de explicar. Hasta aquí hemos tratado principalmente el producto resultante de esta actividad, e.e. la explicación que se ofrecía en el proceso de explicar.

Cuando los filósofos discuten el lenguaje, suelen dividir su estudio en tres partes (bajo el nombre genérico de “teoría general de los signos” o “semiótica”): sintaxis, semántica y pragmática. La sintaxis sólo trata las relaciones formales entre los signos, sin considerar los significados ni a los usuarios (hablantes). La semántica trata las relaciones entre los signos y aquello a lo que se refieren, siendo sus conceptos fundamentales los de significado y verdad. La pragmática trata las relaciones entre los signos y los que los producen y reciben o entienden, e.e. los usuarios o hablantes, siendo de especial interés el contexto en el cual se usa el lenguaje.

En los análisis vistos hasta aquí, la explicación se había caracterizado sólo en términos sintácticos y semánticos, independientemente de consideraciones pragmáticas. Sin embargo, ya en el análisis realizado por Hempel de las explicaciones inductivo estadísticas (IE) se introducen consideraciones de este último tipo, al incluir el principio RME, relativizado a situaciones de conocimiento. Las situaciones de conocimiento (contexto cognoscitivo) son aspectos de los contextos en los que se solicitan y dan las explicaciones. Tales contextos involucran además otros aspectos.

Un modo de ver las dimensiones pragmáticas de la explicación es comenzar con la pregunta a la que se le busca una explicación. Habíamos visto que muchas, sino todas, las explicaciones pueden ser consideradas como preguntas “¿por qué...?” que requieren explicación. En muchos casos, el primer paso pragmático es clarificar la cuestión que está siendo preguntada; a menudo, para interpretar el enunciado emitido por el que pregunta se necesita atender al contexto en que es emitido dicho enunciado. Como ha mostrado Bas van Fraassen, uno de los más importantes autores que han contribuido al estudio de la pragmática de la explicación, el énfasis con el cual un hablante plantea una pregunta pudiera jugar un papel crucial en determinar exactamente qué es lo que se pregunta. Para ilustrarlo utiliza la historia bíblica del paraíso terrenal. Consideremos las tres preguntas siguientes:

- (i) ¿Por qué Adán comió la manzana?
- (ii) ¿Por qué Adán *comió* la manzana?

◀  Peirce, C.S., *Obra lógico-semiótica*, Madrid: Taurus, 1987; y *Escritos lógicos*, Madrid: Alianza, 1988. Morris, C., *Fundamentos de la teoría de los signos*, Buenos Aires: Paidós, 1985.

(iii) ¿Por qué Adán comió *la manzana*?

Aunque en los tres casos las palabras son las mismas y se encuentran en el mismo orden –e.e. el enunciado interrogativo es el mismo: “¿Por qué Adán comió la manzana?”– ellas plantean tres preguntas distintas. Esto puede mostrarse considerando lo que van Fraassen denomina la *clase de contraste*. El enunciado (i) pregunta por qué fue Adán quien comió la manzana, en lugar de Eva, la serpiente o una cabra. El enunciado (ii) pregunta por qué Adán se la comió a la manzana, en vez de arrojarla lejos o dársela a Eva. El enunciado (iii) pregunta por qué fue una manzana lo que comió Adán, y no una pera, una banana o una granada. Las clases de contraste son, respectivamente, {Eva comió la manzana, la serpiente comió la manzana, la cabra comió la manzana,...}, {Adán comió la manzana, Adán arrojó lejos la manzana, Adán le dio la manzana a Eva,...}, {Adán comió la manzana, Adán comió la pera, Adán comió la granada,...}. A menos que tengamos claro cuál es la pregunta a ser respondida, difícilmente podamos esperar proporcionar respuestas adecuadas.

Otro aspecto pragmático de la explicación concierne al conocimiento y a la capacidad intelectual de la persona o del grupo que solicita la explicación. Por un lado, usualmente no hay necesidad de incluir en una explicación asuntos que son obvios para todos los involucrados. Consideremos el caso de una persona que solicita una explicación del repentino aumento en la velocidad de rotación de una patinadora sobre hielo, que está al tanto del hecho de que ella acercó sus brazos hacia su cuerpo, pero que no está familiarizado con la ley de conservación del momento angular. Esta persona requiere conocimiento de la ley de conservación del momento angular a fin de que entienda el hecho-explanandum. Otra persona podría estar completamente al tanto de la ley de conservación del momento angular, pero no de lo que hizo la patinadora con sus brazos. Esta persona necesita estar informada de la maniobra de la patinadora. Una última persona habría tenido noticia de la maniobra de la patinadora, y también estaría al tanto de la ley de conservación del momento angular, pero no de que esta ley se aplica al movimiento de la patinadora. Esta persona necesita que se le muestre cómo se aplica la ley en el caso en cuestión.

Por otro lado, no hay necesidad de incluir en una explicación material que está más allá de la capacidad de comprensión del auditorio. Sería inapropiado para la mayoría de los escolares, p.e., una explicación de la oscuridad del cielo en la noche que hiciera referencia a la estructura no euclídea del espacio o a la trayectoria libre media de un fotón. Muchas de las explicaciones que encontramos en situaciones de la vida real son incompletas, pues tienen en cuenta lo que el que proporciona la explicación considera que es el conocimiento poseído por la audiencia.

Otra consideración pragmática concierne a los intereses del auditorio. Un científico que proporciona una explicación de un accidente grave a una comisión investigadora del congreso pudiera informarle a los miembros del congreso mucho más de lo que ellos quisieran saber acerca de los detalles científicos.

Peter Railton ha ofrecido una distinción que ayuda considerablemente a comprender el rol de la pragmática en la explicación científica. Primero introduce el concepto de *texto explicativo ideal*. Un texto explicativo ideal contiene *todos* los hechos y *todas* las leyes que son relevantes para el hecho-ex-

Railton, P., “Probability, Explanation, and Information”, *Synthese* 48 (1981): 233-256.

planandum. Detalla *todas* las conexiones causales y *todos* los mecanismos ocultos. En la mayoría de los casos el texto explicativo ideal es inmenso y complejo. Consideremos, p.e., la explicación de un accidente de automóvil. Los detalles *completos* del caso, como el comportamiento de ambos conductores, las trayectorias de ambos autos, la condición de la superficie de la autopista, la suciedad de los parabrisas y el clima serían increíblemente complicados. Pero esto no importa en realidad, ya que el texto explicativo ideal es raramente, si es que alguna vez, articulado en su totalidad. Lo que es importante es tener la habilidad de iluminar porciones del texto ideal en la medida en que se quería o necesitaba. Cuando proveemos conocimiento contenido (requerido) en algún aspecto del texto ideal, estamos proporcionando *información explicativa*.

Requerir una explicación científica de un hecho dado es casi siempre, si no literalmente siempre, requerir no el texto explicativo ideal, sino la información explicativa. El texto ideal contiene todos los hechos y leyes pertinentes para el hecho-explanandum. Estos son aspectos completamente objetivos y no pragmáticos de la explicación. El texto ideal determina qué es *relevante* al hecho-explanandum. Ya que, sin embargo, no podemos, ni queremos, proveer el texto ideal completo, se debe proporcionar una selección de la información. Esto depende del conocimiento e interés de aquellos que solicitan y aquellos que proporcionan explicaciones. La información que satisface el requerimiento en términos de los intereses y conocimiento del auditorio es la información *saliente*. La pragmática de la explicación determina qué es lo saliente, e.e, qué aspectos del texto explicativo ideal son apropiados para una explicación en un contexto particular.

3.3.3. Explicación teleológica y funcional

Mencionamos a las explicaciones teleológicas y funcionales entre los problemas a los que debía enfrentarse el modelo de cobertura legal inferencial de Hempel. El problema fundamental que plantean las explicaciones teleológicas y funcionales es que parece que en estos casos el explanandum no se deriva del explanans, sino que el (parte del) explanans se infiere del explanandum (y del resto del explanans). Explicamos el viaje de Carlos a Alemania por su finalidad de continuar con sus estudios de doctorado y el latido del corazón en los vertebrados mediante su función de hacer circular la sangre. Si estas explicaciones son inferencias, el hecho explicado no se infiere de las condiciones antecedentes, sino lo contrario: del viaje de Carlos (y de otras cosas) se infiere su asistencia a cursos de doctorado y del latido del corazón se infiere la circulación de la sangre. Explicamos así un hecho mediante otro que es su finalidad o función, pero parece ser que del hecho a explicar (y de otras cosas) se infiere su finalidad o función, y no al revés. Una característica esencial de las relaciones causales es que la causa es anterior al efecto. Por ello, la dificultad principal de las explicaciones teleológicas y funcionales se deriva de que están *orientadas hacia el futuro*, ya que en estas explicaciones el explanans es posterior en el tiempo al explanandum. El problema que debe afrontarse entonces es el de hacer congeniar la dirección futuro-pasado de estas explicaciones con la dirección pasado-futuro de la causación.

Larry Wright es el primero en proporcionar un análisis satisfactorio de las explicaciones funcionales y teleológicas, dando cuenta de la orientación ha-

Wright, L., "Functions", *Philosophical Review* 82 (1973): 139-168; y Wright, L., *Teleological Explanations*, Berkeley: University of California Press, 1976.



Aristóteles, *Física*, libro II. 

Wolff, C., *Philosophia rationalis sive logica*, 1728, Disc. Prael., p. 85. 

cia el futuro de esas explicaciones en términos causales que no requieren causalidad hacia el pasado. En su análisis distingue las explicaciones teleológicas de las funcionales. El término “teleología”, proviene del vocablo griego “telos” –“τελος”– o “fin” utilizado por Aristóteles como sinónimo de “aquello en vista de lo cual...”, fue introducido por el filósofo alemán Christian Wolff para indicar “la parte de la filosofía natural que explica los fines de las cosas”.

Las explicaciones teleológicas explican *acciones* o en general *conductas* mediante cierta finalidad a la que están dirigidas. Son susceptibles de explicaciones teleológicas la conducta deliberada de los agentes intencionales (p.e. el viaje de Carlos a Alemania), el “comportamiento” de artefactos diseñados con un fin específico (p.e. la trayectoria de un misil) y la conducta no intencional de los organismos vivos (p.e. el andar cauteloso de los felinos). La finalidad la constituye el contenido de un deseo o intención del sujeto de la acción (en el caso del viaje de Carlos a Alemania), el contenido de la intención con que se ha diseñado el artefacto (en el caso de la trayectoria de un misil) o la satisfacción de cierta condición necesaria para la supervivencia del organismo (en el caso del andar cauteloso de los felinos).

La idea básica del análisis realizado por Wright es que en todos los casos de conducta dirigida a un fin, la conducta no sólo produce-*causa* el fin, sino que además la conducta ocurre *porque*, e.e., *a causa de que*, produce el fin. La conducta se produce *porque conductas como ésta por lo general han producido en el pasado hechos del mismo tipo que el fin*. Tal como lo formula Wright:

S realiza B con la finalidad G si y sólo si:

- a) B tiende a producir G.
- b) B ocurre porque tiende a producir G.

Aquí S es el sujeto, mientras que B y G son conductas y sucesos particulares, pero en donde se hace referencia implícita a *tipos* de conductas y sucesos. La condición a) establece que la conducta particular B tiende a causar el suceso particular G, basándose en una relación causal general, a saber: que conductas del tipo B tienden a causar sucesos del tipo G. En la condición b) la referencia implícita a los tipos de conducta y sucesos es más fundamental: lo que ésta establece es que parte de la historia causal de la acción concreta B el que acciones del tipo B causen sucesos del tipo G. mientras que la condición a) sólo da cuenta de (parte de) la dimensión causal de la explicación y no de su orientación hacia el futuro, la condición b) da cuenta de en qué sentido apelamos a G, que pertenece al futuro de B, para explicar la ocurrencia de B, pues sucesos que son del mismo tipo del que tendrá lugar en el futuro, G, pero que ocurrieron en el pasado, son causalmente responsables de la ocurrencia actual de B, e.e. que en el pasado sucesos del tipo B causaran sucesos del tipo G, causa la actual ocurrencia de B. De este modo Wright conjuga causalidad hacia delante y orientación hacia el futuro en las explicaciones teleológicas.

El análisis que realiza Wright de las explicaciones funcionales es básicamente el mismo que el de las explicaciones teleológicas. Las explicaciones, o adscripciones, funcionales, sin embargo, no explican una acción o conducta sino la *presencia de una entidad en cierto sistema*. Ejemplos de ello lo son el corazón en los animales, la clorofila en las plantas o las ventanas en una casa. El análisis es similar al de las acciones:

La función de X es Z si y sólo si:

- a) Z es una consecuencia (resultado) de que X esté-ahí
- b) X está-ahí porque produce Z.

Aquí X es la entidad en cuestión, mientras que Z es la función que realiza. Las condiciones a) y b) deben leerse de modo análogo a las anteriores: a) Z es una consecuencia (resultado) de que X esté-ahí o, lo que es lo mismo, el estar-ahí de X causa Z, y b) la causa de que X esté-ahí es que X causa Z.

 **1.** Mencione tres enunciados pertenecientes a su disciplina de formación o alguna otra que sean denominados “leyes”, diga si se trata de leyes de sucesión o de coexistencia, probabilistas o no-probabilistas, cualitativas o cuantitativas.

 **2.** Discuta si las leyes mencionadas en el ejercicio anterior satisfacen las condiciones de verdad, universalidad o irrestricción.

 **3.** Seleccione dos ejemplos de explicación científica de una o más revistas científicas o de un libro de texto que haya usado en un curso universitario. Dé un resumen conciso de esas explicaciones y analícelos en términos de alguno(s) de los tipos de explicación presentados en esta unidad.

 De acuerdo con la tesis de la simetría entre explicación y predicción, toda explicación científica satisfactoria podría servir (en algún contexto adecuado) como una predicción científica y toda predicción científica podría servir (en algún contexto adecuado) como una explicación científica. Discuta críticamente ambas partes de esta tesis de la simetría. Dé razones para aceptar o rechazar cada parte.

 ¿Hay diferencias fundamentales entre las explicaciones en las ciencias naturales y las explicaciones en las ciencias sociales? ¿Hay diferencias básicas entre el comportamiento humano y el comportamiento de otros tipos de objetos empíricos que hacen a un tipo más sencillo de explicar que a otro? ¿Es posible la explicación del comportamiento humano que involucra deliberación consciente y libre albedrío? Discuta críticamente.



Carnap, R., *Fundamentación lógica de la física*, Buenos Aires: Sudamericana, 1969, cap. I.

Díez, J.A. y C.U. Moulines, *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona: Ariel, 1997, caps. 5, 7.

Hempel, C.G., *La explicación científica*, Buenos Aires: Paidós, 1979, caps. IX (“La función de las leyes generales de la historia”), X (“La lógica de la explicación”), XII (“Aspectos de la explicación científica”).

Hempel, C.G., *Filosofía de la ciencia natural*, Madrid: Alianza, 1973, cap. 5.

Referencias bibliográficas

- Aristóteles (1993), *Física*, Buenos Aires: Biblos, libro II.
- Carnap, R. (1942), *Introduction to Semantics*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Carnap, R. (1969), *Fundamentación lógica de la física*, 1ª edición 1966, Buenos Aires: Sudamericana.
- Díez, J.A. y C.U. Moulines (1997), *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona: Ariel.
- Goodman, N. (1965), “Los condicionales contrafácticos”, 1ª edición 1946, *Cuadernos de Epistemología* 12, Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Grünbaum, A. y W.C. Salmon (eds.) (1988), *The Limitations of Deductivism*, Berkeley: University of California Press.
- Hempel, C.G. (1973), *Filosofía de la ciencia natural*, 1ª edición 1966, Madrid: Alianza.
- Hempel, C.G. (1979), *La explicación científica*, 1ª edición 1965, Buenos Aires: Paidós.
- Kitcher, P. y W.C. Salmon (eds.) (1989), *Scientific Explanation*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 13, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Morris, C. (1985), *Fundamentos de la teoría de los signos*, Buenos Aires: Paidós.
- Newton, I. (1982), *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*, 1ª edición 1687, Madrid: Editora Nacional.
- Peirce, C.S. (1987), *Obra lógico-semiótica*, Madrid: Taurus.
- Peirce, C.S. (1988), *Escritos lógicos*, Madrid: Alianza.
- Popper, K. (1962), *La lógica de la investigación científica*, 1ª edición 1935, Madrid: Tecnos.
- Railton, P. (1981), “Probability, Explanation, and Information”, *Synthese* 48, pp. 233-256.
- Salmon, M.H. (1992), *Introduction to the Philosophy of Science*, Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall.
- Stegmüller, W. (1983), *Erklärung-Begründung-Kausalität*, 1ª edición 1969, Berlin-Heidelberg-New York-Tokio: Springer.
- van Fraassen, B. (1996), *La imagen científica*, 1ª edición 1980, México: Universidad Nacional Autónoma de México/Paidós.
- Weinert, F. (1995), “Laws of Nature – Laws of Science”, en: Weinert, F. (ed.) (1995), *Laws of Nature. Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions*, Berlin: de Gruyter, pp. 3-64.
- Wolff, C. (1728), *Philosophia rationalis sive logica*, Frankfurt/Leipzig.
- Wright, L. (1973), “Functions”, *Philosophical Review* 82, pp. 139-168.
- Wright, L. (1976), *Teleological Explanations*, Berkeley: University of California Press.

Teorías científicas

Objetivos

1. Que el alumnado comprenda la(s) concepción(es) clásica(s) de las teorías científicas, en especial la versión de Carnap.
2. Que el alumnado comprenda la(s) concepción(es) histórica(s) de las teorías científicas, en especial versión de Kuhn.
3. Que el alumnado comprenda la(s) concepción(es) semántica(s) de las teorías científicas, en especial la versión estructuralista.

El concepto de teoría

Las teorías científicas constituyen un objeto de primerísima importancia para captar lo esencial de la ciencia, tanto sincrónica como diacrónicamente. De allí que en cada uno de los períodos señalados en la Unidad 1 por los que ha atravesado la filosofía de la ciencia en el siglo XX, y lo que va del XXI, prevalezca una determinada concepción de la naturaleza y estructura de las teorías científicas, concepciones que podríamos denominar *clásica* (o *heredada*), *histórica* (o *historicista*) y *semántica* (o *modelo-teórica*), respectivamente. A continuación pasaremos revista a dichas concepciones, deteniéndonos en las versiones más conocidas y desarrolladas de cada una de ellas: la carnapiana, la kuhniana y la estructuralista.

4.1. La concepción clásica de las teorías

Uno de los problemas centrales del período clásico lo constituyó la elucidación del concepto de teoría empírica. Podría decirse que si bien todos los filósofos pertenecientes a dicho período consideraban a las teorías como *conjuntos de enunciados organizados deductiva o axiomáticamente*, no todos concordaban en el modo específico en que esto debía ser comprendido y precisado. Esta concepción es conocida con el nombre de *concepción heredada-clásica, estándar, recibida, ortodoxa, tradicional o enunciativa* de las teorías científicas.

Su versión más madura y elaborada, fruto de diferentes análisis, críticas y sucesivos intentos encaminados a superarlas, la encontramos en Rudolf Carnap.

Carnap, R., "El carácter metodológico de los términos teóricos", en Feigl, H. y M. Scriven (eds.), *Los fundamentos de la ciencia y los conceptos de la psicología y del psicoanálisis*, Santiago: Universidad de Chile, 1967, pp. 53-93; en Olivé, L. y A.R.

Exposiciones originales de la concepción clásica las encontramos, entre otros, en: Braithwaite, R., *La explicación científica*, Madrid: Tecnos, 1965, cap. II; Campbell, N., "La estructura de las teorías", en Rolleri, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 19-46; Hempel, C.G., *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*, Madrid: Alianza, 1988, 37-77; Hempel, C.G., "El dilema del teórico", en *La explicación científica*, Buenos Aires: Paidós, 1979, pp. 177-229; Nagel, E., *La estructura de la ciencia*, Buenos Aires: Paidós, 1968, p. 93 y ss.; Popper, K., *La lógica investigación científica*, Madrid: Tecnos, 1962, §§ 16-17; Ramsey, F.P., "Teorías", en Rolleri, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 47-67; Reichenbach, H., *La filosofía científica*, México: Fondo de Cultura Económica, 1953, cap. 8.

Para el desarrollo de la concepción clásica, véase: Stegmüller, W., *Teoría y experiencia*, Barcelona: Ariel, 1979; Suppe, F., "En busca de una comprensión filosófica de las teorías científicas", en Suppe, F. (ed.), 1979, *La estructura de las teorías científicas*, Madrid: Editora Nacional, pp. 15-277; Lorenzano, P., *El problema de la teoriedad en la filosofía de la ciencia*, Tesis de Licenciatura, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986.

Pérez Ransanz (eds.), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, Madrid: Siglo XXI, 1989, pp. 70-115; y en Roller, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 69-111; Carnap, R., *Fundamentación lógica de la física*, Buenos Aires: Sudamericana, 1969.

De acuerdo con ella, las teorías científicas particulares pueden presentarse bajo la forma de un *sistema interpretado* que consta de: a) un cálculo específico (sistema axiomático), y b) un sistema de reglas semánticas para su interpretación.

4.1.1. Cálculos y sistemas axiomáticos

Para reconstruir una teoría de acuerdo con la concepción clásica en su versión carnapiana, debemos comenzar por establecer en el metalenguaje un sistema denominado “cálculo”, que se caracteriza sólo en términos sintácticos, mediante las reglas de formación y de transformación.

Reglas de formación y de transformación

Las reglas que caracterizan un lenguaje en el cual sólo consideramos su estructura formal, con total independencia de sus significados, son de dos clases: de formación y de transformación. Las reglas de formación de un lenguaje determinan de qué modo se pueden construir las oraciones de ese lenguaje a partir de los diversos tipos de signos. Determinan qué vamos a considerar una oración o no del lenguaje, dependiendo de la forma en que se encuentren sus signos. Las reglas de transformación, a su vez, determinan cómo transformar unas oraciones dadas en otras, cómo inferir unas oraciones a partir de otras dadas. Estas son, por tanto, las reglas de inferencia del lenguaje en cuestión. Los lenguajes para los que se han dado las reglas sintácticas de formación y de transformación se denominan “cálculos”.

Sobre sistemas axiomáticos, puede verse: Blanché, R., *La axiomática*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1965; Mosterín, J., *Conceptos y teorías en la ciencia*, Madrid: Alianza, 1987, cap. 5; Torretti, R., “El método axiomático”, en Moulines, C.U. (ed.), *La ciencia: estructura y desarrollo*, Madrid: Trotta, 1993, pp. 89-110.



La lógica de primer orden (que incluye tanto la lógica de enunciados o proposicional como la de predicados, cuantificadores o funcional) es el más importante de los cálculos, ya que se pretende utilizar como presupuesto en la construcción de todos los demás, sirviéndoles como base. De este modo los *sistemas axiomáticos* constan de dos partes: el *cálculo básico lógico* y un *cálculo específico* que se le añade. El cálculo básico consiste –como dijimos– en el cálculo de enunciados y una parte, más chica o más grande, del cálculo funcional. Debido a que el cálculo básico es fundamentalmente el mismo para todos los diferentes cálculos específicos, se acostumbra no mencionarlo en absoluto y describir sólo la parte específica del cálculo. Ésta no contiene usualmente reglas de inferencia, sino sólo los enunciados primitivos adicionales, llamados *axiomas*. Tal parte específica es la que generalmente se denomina *sistema axiomático*.

En el caso de una teoría particular, las leyes de dicha teoría (aquellas leyes que no se deducen de otras) son los *axiomas*, los enunciados básicos primitivos de la teoría. De estos axiomas se deducen como teoremas el resto de las afirmaciones teóricas. Sin embargo, ningún sistema axiomático (cálculo específico) se bastaría por sí solo, debido a que sin la ayuda del cálculo

lo básico lógico sería imposible probar ningún teorema del sistema o llevar a cabo una deducción cualquiera. En cuanto a sus términos, un sistema axiomático contiene por un lado constantes lógicas (pertenecientes al cálculo básico) y por el otro constantes específicas o axiomáticas (propias del cálculo específico). Los términos de este último tipo, e.e. no lógico-matemáticos (o descriptivos), con los que se formulan los axiomas son los *términos teóricos* primitivos del sistema. 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 modo de axiomatizar las teorías empíricas –como *sistemas axiomáticos de tipo Hilbert* o *Frege-Hilbert* o, como también se los llama, *sistemas axiomáticos hilbertianos formales* o, sencillamente, *sistemas formales*– constituye el *enfoque formal* o *enfoque de Carnap* y está ligado históricamente a dos posiciones en fundamentos de las matemáticas: el *logicismo* y el *formalismo*.

La tesis del logicismo (sugerida por Leibniz y desarrollada en detalle por Frege, Russell y Whitehead) consiste en afirmar que la aritmética, y a partir de ella la totalidad de las matemáticas, es reducible a la lógica, esto es, que los enunciados aritméticos pueden derivarse de los axiomas puramente lógicos. El formalismo, fundado por Hilbert, propone construir las matemáticas clásicas haciendo total abstracción del significado, como sistemas de símbolos y de objetos carentes de significado construido a partir de símbolos igualmente desprovistos de interpretación, esto es, como sistemas puramente sintácticos o formales; y en segundo lugar, investiga las propiedades de tales sistemas, haciéndolos objeto de un estudio matemático denominado *metamatemático* o *teoría de la demostración*. Con el logicismo se relaciona en la medida en que, como cálculo básico, presupuesto en la construcción de todos los demás, asume sólo el aparato de la lógica elemental, mientras que con el formalismo lo hace a través del establecimiento de sistemas axiomáticos formales, susceptibles de recibir un tratamiento en el cual podamos enfrentarnos a cuestiones tales como las de consistencia, completud o independencia de los axiomas.

4.1.2. Interpretación y reglas de correspondencia

Al adoptarse el enfoque formal en el problema de ofrecer los fundamentos axiomáticos de las teorías científicas, para develar así su *estructura interna*, la cuestión de la *interpretación* surge de una manera directa y natural, puesto que en la formalización se abstrae el contenido de los términos que conforman el sistema. A fin de resolver esa cuestión se necesita dar *reglas semánticas*, en primer término para los signos, constantes o términos lógicos del vocabulario lógico V_L (que establecen para cada uno de ellos las condiciones de verdad de los enunciados construidos con su ayuda) y posteriormente para los signos, constantes o términos específicos, propios del sistema axiomático, y que –como vimos– son conocidos con el nombre de *términos teóricos* y conforman el vocabulario descriptivo teórico V_T . Este segundo paso es necesario si la teoría es empírica y no meramente matemático-formal, pues debe haber una conexión de los términos teóricos, introducidos por el cálculo axiomático, con la experiencia o con situaciones empíricas. Esta conexión se realiza mediante ciertos enunciados que vincu-

◀  Sobre fundamentos de las matemáticas, véase: Körner, S., *Introducción a la filosofía de la matemática*, México: Siglo XXI, 1967.

lan algunos, pero no necesariamente todos, los términos teóricos, p.e. “temperatura”, con otro tipo de términos descriptivos, a saber: aquellos que reciben una interpretación empírica completa mediante reglas semánticas de designación, e.e. con los términos denominados *observacionales*, que conforman el vocabulario descriptivo observacional V_O , p.e. “ascender” o “líquido”. Estos enunciados mixtos que, además de los axiomas, también forman parte de la teoría son las denominadas *reglas de correspondencia C*, p.e. “al aumentar la temperatura asciende la columna de líquido”. Mediante las reglas de correspondencia se le proporciona una interpretación empírica (observacional), si bien parcial e indirecta, y así contenido empírico, a los términos del formalismo axiomático abstracto. Así la teoría, o cálculo interpretado, consiste en la conjunción de todos los axiomas y de todas las reglas de correspondencia $T \& C$.

A pesar de lo importante que es la caracterización de lo observable para poder establecer la distinción teórico-observacional, ésta no se llevaba a cabo de un modo preciso y sistemático, sino que se consideraba no problemática y universalmente comprendida, y sólo se pretendía “aclarar” por medio de ejemplos. Lo mismo sucedía, en consecuencia, con teórico (“no-observable”). “Rojo”, “caliente”, “a la izquierda de”, “volumen”, “flota”, “madera”, “duro”, “polo”, “peso”, “toca”, “más largo que”, “agua”, “hierro”, “núcleo celular” serían ejemplos de términos observacionales, en tanto que “campo eléctrico”, “carga”, “temperatura”, “electrón”, “energía cinética”, “átomo”, “masa”, “molécula”, “resistencia eléctrica”, “función de onda”, “gen”, “virus”, “ego”, lo serían de términos teóricos. En este contexto, entonces, se emplea la expresión “observable” como concepto básico no-definido, lo cual no excluye, naturalmente, la posibilidad de construir una teoría sistemática de la observabilidad. Pero, con absoluta independencia de los potenciales resultados de una teoría semejante, Carnap constata que no existe un único uso correcto del predicado “observable”, sino todo un continuo de posibles modos de empleo del término. En un extremo de esta escala continua se encuentran las “percepciones directas de los sentidos” y en el otro procedimientos de observación enormemente complejos e indirectos. La frontera entre lo que queremos considerar observable y lo que no, debe trazarse en algún punto, si se quiere llegar a un lenguaje de la ciencia comprensible intersubjetivamente. En qué punto se trace esa frontera es asunto de convención. El filósofo se inclinará a trazar una frontera estrecha y vinculada al primer extremo del continuo, en tanto que para el científico la palabra tiene un significado mucho más amplio, vinculado al segundo.

Si bien la frontera entre lo observable y lo no-observable debe trazarse de un modo convencional, no significa que la estipulación haya de ser inmotivada: en la elección intervendrán numerosas consideraciones, tanto teóricas como prácticas. Pero una vez tomada la decisión, dicha clasificación de los términos descriptivos del lenguaje global de la ciencia, permanece fija, siendo independiente de las teorías que se formulen más tarde en él; de este modo, la distinción se convierte en absoluta y general. La elección que realiza el propio Carnap es la siguiente: los términos descriptivos de V_O refieren a lo observable directamente por los sentidos o mediante técnicas relativamente simples; los restantes términos descriptivos son considerados teóricos, perteneciendo a V_T .

4.1.3. Dificultades de la concepción clásica de las teorías

La concepción clásica de las teorías se ve sometida, ya desde fines de los años cincuenta, a una serie de críticas que hacen, en definitiva, dudar de su adecuación y buscar otras alternativas. Uno de los aspectos al que más objeciones se le han planteado es a la distinción teórico-observacional. La forma adoptada de establecer la distinción entre los dos niveles conceptuales de las teorías tiene dos supuestos implícitos:

- 1) se pueden establecer dicotomías duales y coextensivas; y
- 2) las afirmaciones que contienen términos de V_O como sus únicos términos no lógicos son primarias con respecto a las que se efectúan con el vocabulario descriptivo teórico V_T y no son problemáticas con respecto a la verdad.

- 1) En primer lugar hay una distinción entre aquellos objetos, sus propiedades y sus relaciones que son observables y aquellos que no lo son. En segundo lugar, existe una división del vocabulario descriptivo del lenguaje de la ciencia en vocabulario observacional V_O y vocabulario teórico (no observacional) V_T .

Además, esta división en V_O y V_T es tal que los términos de V_O incluyen todas y sólo aquellas palabras del lenguaje científico que se refieren a, o designan directamente, entidades o cosas observables o sus atributos. Es decir, se afirma implícitamente la existencia de dos dicotomías –una que se refiere a los objetos y sus atributos y otra a los términos descriptivos del lenguaje científico– que son coextensivas.

- 2) Esta es una afirmación implícita acerca del conocimiento perceptivo. Supone que, una vez establecida la dicotomía dual coextensiva anterior, dos observadores cualesquiera estarán de acuerdo acerca del valor de verdad de los enunciados formulados en V_O , esto es, que las afirmaciones realizadas en el vocabulario V_O son científicas y teóricamente neutrales, y no problemáticas con respecto a la verdad, constituyendo la base empírica de contrastación de los enunciados de nivel teórico.

Al primero de los supuestos implícitos en dicha distinción lo atacan autores como Achinstein y Putnam, que sostienen que la distinción no puede ser establecida satisfactoriamente.

Para ello, muestran que con ninguno de los conceptos propuestos de observable se logra especificar la distinción con precisión o de tal modo que obtenemos las listas clasificatorias de los ejemplos presentados que pretenden alcanzar dicho concepto, así como tampoco se logra aclarar cuáles son las características distintivas de los ejemplos pertenecientes a una y otra lista.

Simultáneamente presentan una serie de argumentos convincentes para sostener que el significado de los términos descriptivos de los lenguajes científicos naturales no suele ser tal que éstos pueden ser usados exclusivamente para referirse sólo a objetos observables u objetos no-observables.

Frente al segundo de los supuestos subyacentes a la distinción teórico-observacional, se levantan personas como Popper, Hanson, Kuhn y Feyerabend, en una crítica que pudiera englobarse bajo el rótulo de “la observación depende de la teoría”.

Los argumentos presentados –el metodológico (que va dirigido contra la idea de que las observaciones efectuadas por un observador imparcial y sin

► Dos clases son coextensivas cuando poseen la misma extensión.

Achinstein, P., “Términos observacionales”, en Olivé, L. y A.R. Pérez Ransanz (eds.), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, México: Siglo XXI-Universidad Nacional Autónoma de México, 1989, pp. 330-354; Putnam, H., “Lo que las teorías no son”, en Rolleri, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 123-139; y en Olivé, L. y A.R. Pérez Ransanz (eds.), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, México: Siglo XXI-Universidad Nacional Autónoma de México, 1989, pp. 312-329.

Popper, K., *La lógica investigación científica*, Madrid: Tecnos, 1962; Hanson, N.R., *Patrones de descubrimiento*, Madrid: Alianza, 1977; Kuhn, T.S., *La estructura de las revoluciones científicas*, México: Fondo de Cultura Económica, 1971; Feyerabend, P., *Contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*, Barcelona: Ariel, 1974; Feyerabend, P., *Tratado contra el método*, Madrid: Tecnos, 1981.

“En cierto sentido, entonces, la visión es una acción que lleva una ‘carga teórica’”, Hanson, N.R., *Patrones de descubrimiento*, Madrid: Alianza, 1977, p. 99. Para distintos sentidos en que un término puede depender de una teoría, ver Achinstein, P., “Términos teóricos”, en Olivé, L. y A.R. Pérez Ransanz (eds.), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, México: Siglo XXI-Universidad Nacional Autónoma de México, 1989, pp. 355-381.

Este tipo de críticas se encuentran en: Suppes, P., “Algunas consideraciones sobre los problemas y métodos de la filosofía de la ciencia”, en *Estudios de filosofía y metodología de la ciencia*, Madrid: Alianza, 1988, pp. 24-37; Suppes, P., “¿Qué es una teoría científica?”, en Roller, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 167-178; Moulines, C.U. y J. Sneed, “La filosofía de la física de Suppes”, *Lecturas filosóficas* 6, Morelia: Universidad Michoacana, 1980; Stegmüller, W., *La concepción estructuralista de las teorías*, Madrid: Alianza, 1981; Díez, J.A. y P. Lorenzano, “La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX”, en Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, 2002, pp. 13-78.

prejuicios, e.e. sin ningún conocimiento teórico, proporcionan la base del conocimiento científico), el psicológico-perceptivo (que se opone a la idea de que dos observadores normales que ven el mismo objeto desde el mismo lugar en las mismas circunstancias físicas tienen necesariamente idénticas experiencias visuales) y el lingüístico (que polemiza con la idea de que los enunciados observacionales se formulan al margen de cualquier marco lingüístico o conceptual, e.e. teórico, previo)– pretenden mostrar que la relación de dependencia es de los informes observacionales con respecto a la teoría y no a la inversa. Esto es lo que, en general, afirma la “tesis de la carga teórica”, puesta tan de moda a partir de su expresión por Hanson, y que ha dado lugar a la posición del “todo es teoría”.

Otro de los aspectos de la concepción clásica que ha sido objeto de críticas lo constituye el modo en que propone capturar la estructura interna de las teorías, mediante el denominado enfoque formal o de Carnap, e.e. mediante su reconstrucción como sistemas axiomáticos hilbertianos en un lenguaje formal, la lógica de primer orden.

Contra esta propuesta se afirma que es de naturaleza altamente esquemática y que es inaudito encontrar (no hay, virtualmente) un ejemplo sustantivo de una teoría trabajada como un cálculo lógico, debido a que se enfrenta con la siguiente dificultad: casi todas las teorías de algún interés o poder en la ciencia empírica, presuponen una gran cantidad de matemáticas como parte integrante suya; por otra parte, no hay un modo simple o elegante de incluir esta subestructura matemática en una formalización estándar que sólo asume el aparato de la lógica de enunciados y de predicados que valen para un solo tipo de objetos.

Lo que se sigue de lo anterior no es que sea lógicamente imposible llevar a cabo una axiomatización según la propuesta de la concepción clásica, sino sólo que es muy difícil en la práctica. Además, un partidario del enfoque formal podría replicar que la idea básica es correcta, y que si lo que falla es la adopción de la lógica elemental como lenguaje formal dentro del cual reconstruir las teorías, bien podemos abandonar esta autolimitación y construir sistemas formales dentro de lenguajes de orden superior.

Sin embargo, podría reformularse el argumento de forma tal que se aplicara no sólo al intento de axiomatizar teorías empíricas dentro del lenguaje de la lógica de primer orden sino al de hacerlo dentro de cualquier lenguaje formal. Según esta reformulación, se señalaría lo siguiente: las porciones del lenguaje matemático dentro de las que son formuladas las teorías no es fácil de formalizar en la lógica de primer orden y, más aún, *no han sido todavía* formalizadas dentro de *ningún* lenguaje formal; de lo que se desprende que la propuesta de axiomatización en un lenguaje formal es impráctica, ya que antes de reconstruir de este modo las teorías empíricas para hacer de ellas el objeto de nuestros estudios, deberíamos *nosotros mismos* formular las matemáticas utilizadas en lenguajes formalizados o *esperar* a que alguien lo haga.

Por otro lado, además de la anterior dificultad podría señalarse esta otra: si consideramos que las teorías no son estructuras aisladas, sino más bien que están conectadas con otras teorías –empíricas y matemáticas– y que, en particular, presuponen a otras teorías –e.e. sus conceptos y leyes sólo cobran sentido suponiendo que otros conceptos y leyes de teorías previas han sido ya adecuadamente descritos–, entonces para axiomatizar cualquier teoría el racimo entero de teorías presupuestas deben estar ya a la mano como

sistemas axiomáticos formales. Esto constituye una dificultad aún mayor, ya que en muchos casos no es del todo claro qué teorías están presupuestas por otras, además de que las relaciones entre distintas teorías sólo pueden ser clarificadas *después* de que las diferentes teorías han sido identificadas como estructuras singulares, mientras que la metodología formalista estricta requiere que primero se conozcan las relaciones y que después se construya paso a paso la familia entera de teorías singulares como sistemas formales, lo que acarrea una especie de círculo vicioso no lógico.

Sin embargo, 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 compece mal con el “axiomatismo” que inspiraba a la concepción clásica. En parte, la concepción semántica –que veremos más adelante– 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 clásica 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.

4.2. Las concepciones históricas de las teorías

Como ya habíamos señalado en la Unidad 1, a la mayoría de estudios y análisis diacrónicos, propios del período histórico, subyace, sin que impliquen en sentido estricto, una nueva concepción acerca de la naturaleza y estructura sincrónica de las teorías científicas, que se supone más apegada a la práctica científica tal como la historia nos las presenta. Según esta nueva concepción, las teorías científicas no son enunciados o secuencias de enunciados y en un sentido propio no pueden calificarse de verdaderas o falsas, aunque con ellas sí se realicen afirmaciones empíricas verdaderas o falsas, sino que son entidades sumamente complejas y dúctiles, susceptibles de evolucionar en el tiempo sin perder su identidad, con partes “esenciales” y partes “accidentales”, diversos niveles de empiricidad, y llevando asociadas normas, valores o simplemente indicaciones, metodológicas y evaluativas, algunas de ellas fuertemente dependientes del contexto.

Esta nueva noción es desarrollada, de distinta manera y con variada terminología, por los llamados *nuevos filósofos* de la ciencia. Entre ellos se encuentran S. Toulmin, N.R. Hanson, P. Feyerabend, I. Lakatos y L. Laudan, destacándose la figura de T.S. Kuhn.

Pérez Ransanz, A.R., *Kuhn y el cambio científico*, México: Fondo de Cultura Económica, 1999. 

Toulmin, S., *La filosofía de la ciencia*, Buenos Aires: Los libros del mirasol, 1964; Toulmin, S., *La comprensión humana*, Madrid: Alianza, 1977; Hanson, N.R., *Patrones de descubrimiento*, Madrid: Alianza, 1977; Feyerabend, P., *Contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*, Barcelona: Ariel, 1974; Feyerabend, P., *Tratado contra el método*, Madrid: Tecnos, 1981; Lakatos, I., “La falsación y la metodología de los programas de investigación científica”, en Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, 1975, pp. 203-343; Lakatos, I., “La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales”, en Lakatos & Musgrave, 1975, pp. 455-509; e *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*, Madrid: Tecnos, 1974; Laudan, L., *El progreso y sus problemas*, Madrid: Ediciones Encuentro, 1986; “Un enfoque de solución de problemas al progreso científico”, en Hacking, I., *Revoluciones científicas*, México: Fondo de Cultura Económica, 1985, pp. 273-293.

Kuhn, T.S., *La estructura de las revoluciones científicas*, México: Fondo de Cultura Económica, 1971, es una traducción de la segunda edición, publicada en 1970, que sólo difiere de la primera en el añadido de la “Posdata: 1969”. 

La aparición en 1962 de la primera edición de su obra *La estructura de las revoluciones científicas* –la más emblemática, además de popular, de este período– marca la irrupción de los nuevos filósofos en el panorama epistemológico internacional, amplificando su impacto a través del Coloquio Internacional de Filosofía de la Ciencia, realizado en Londres en 1965, y de la publicación del cuarto volumen de sus Actas, en 1970, bajo el nombre de *La crítica y el desarrollo del conocimiento*.

Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, 1975. 

Con *La estructura de las revoluciones científicas* se inauguraba una nueva concepción de la ciencia que revitalizó a la reflexión filosófica sobre la ciencia, desplazando del centro de la escena los programas de investigación metacientífica que predominaban hasta el momento, las versiones carnapiana y popperiana de la concepción heredada, que comenzaban a mostrar signos de agotamiento.

Sin embargo, pocos percibieron en su momento que la obra de Kuhn ocultaba, detrás del ruido fragoroso de las rupturas con las concepciones que lo

precedieron, ciertas continuidades que permiten rescatar para él mismo una de las nociones que le son más caras, y quizás la que más lo caracterice: la idea de largas permanencias en el tiempo de sólidos marcos conceptuales que evolucionan, se enriquecen, decaen y finalmente son reemplazados. En efecto, su libro, que desde el título propone dar cuenta de los cambios revolucionarios, ofrece en su mayor extensión un cuidadoso análisis de aquellos períodos en los que los científicos trabajan sobre bases no cuestionadas. El impacto que provocó en su momento se explicaría porque realiza una síntesis de las preocupaciones y los logros teóricos de diversas corrientes de pensamiento con una sólida trayectoria histórica. La idea es simple. Si su propuesta hubiera consistido en una novedad completa o absoluta, hubiera sido ininteligible, al menos al comienzo, antes de que se aprendiera su lenguaje específico, radicalmente nuevo, como se aprende una lengua nueva. No fue este el caso. Si bien parte de sus planteos podían ser considerados novedosos u heterodoxos en el contexto particular en que fueron discutidos, y que llevó a algunas situaciones de “comunicación (sólo) parcial”, conmovió y logró adhesiones casi inmediatas –y rechazos– de filósofos e historiadores de la ciencia de nota.

Conocemos por el propio Kuhn las grandes influencias en su pensamiento: la de los *historiadores* Alexander Koyré, Émile Meyerson, Hélène Metzger, Anneliese Maier, Arthur O. Lovejoy, James B. Conant; la *psicología* de la Gestalt y la obra de Jean Piaget; la *filosofía de la ciencia* de Ludwik Fleck; la *teoría del lenguaje* de Benjamin L. Whorf; las obras de Ludwig Wittgenstein y Willard Van Orman Quine, entre otros.

De las obras de estos autores que ejercieron influencia en el pensamiento de Kuhn, pueden consultarse en castellano las siguientes: Koyré, A., *Estudios galileanos*, México: Siglo XXI, 1990; Meyerson, É., *Identidad y realidad*, Madrid: Reus, 1929; Lovejoy, A.O., *La gran cadena del ser*, Barcelona: Icaria, 1983; Conant, J.B., *On Understanding Science*, New Haven: Yale University Press, 1947; Köhler, W., Koffka, K. y F. Sander, *Psicología de la forma*, Buenos Aires: Paidós, 1963; Koffka, K., *Principios de psicología de la forma*, Paidós: Buenos Aires, 1973; Köhler, W., *Psicología de la forma*, Madrid: Biblioteca Nueva, 1972; Piaget, J., *Psicología de la inteligencia*, Buenos Aires: Psiqué, 1981; Piaget, J., *Seis estudios de psicología genética*, Barcelona: Ariel, 1975; Fleck, L., *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*, Madrid: Alianza, 1986; Whorf, B.L., *Lenguaje, pensamiento y realidad*, Barcelona: Seix Barral, 1973; Wittgenstein, L., *Investigaciones filosóficas*, Barcelona-México: Crítica-Universidad Nacional Autónoma de México, 1988; Quine, W.V.O., “Dos dogmas del empirismo”, en *Desde un punto de vista lógico*, Barcelona: Ariel, pp. 49-81; Quine, W.V.O., *Palabra y objeto*, Barcelona: Labor, 1963.

Todos ellos dejaron en mayor o menor medida su impronta en Thomas S. Kuhn, quien las asume y las incorpora –transformándolas– en esa concepción original que visualiza a la ciencia como nacimiento, desarrollo, crisis y reemplazo de paradigmas.

En cuanto a sus relaciones con la filosofía de la ciencia del período clásico, Kuhn –que esperaba encontrar sus mejores aliados entre los popperianos– se dedica a mostrar cómo su pensamiento continúa el de Karl Popper de una manera que le es propia. El violento rechazo que experimentara le en-

Kuhn, T.S., “¿Lógica del descubrimiento o psicología de la investigación?”, en Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, 1975, pp. 81-111; y “La lógica del descubrimiento o la psicología de la investigación”, en *La tensión esencial. Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, México: Fondo de Cultura Económica, 1982, pp. 290-316.

señó que, aunque tuvieran coincidencias, la comunidad popperiana y el propio Popper no le perdonarían los aspectos pragmáticos (psicológicos y sociológicos) de su propuesta.

La situación es igualmente paradójica con respecto al positivismo o empirismo lógico, que se supone fue el adversario derrotado por su obra. Pocos advirtieron –o lo creyeron un error– que *La estructura de las revoluciones científicas* fue editada como monografía en la primera parte introductoria de la *Enciclopedia de la Ciencia Unificada*, su más ambicioso proyecto. Sin embargo, por fuera de los estereotipos que la transformaron en el “hombre de paja” que todos usan para denostarla, esta corriente de la filosofía de la ciencia presenta un amplia gama de facetas y orientaciones, tal como lo muestra la comparación de los trabajos de, por ejemplo, Otto Neurath, Edgar Zilsel y Rudolf Carnap, y que justifican la recomendación entusiasta del libro de Kuhn que éste escribe en una nota de puño y letra al reverso de la carta oficial de aceptación que dirige a Charles Morris.

De estos autores pueden consultarse: Neurath, O., “Proposiciones protocolares”, en Ayer, A.J. (ed.), *El positivismo lógico*, México: Fondo de Cultura Económica, 1965, pp. 205-214; Neurath, O., “Sociología en fiscalismo”, en Ayer, A.J. (ed.), *El positivismo lógico*, México: Fondo de Cultura Económica, 1965, pp. 287-322; Zilsel, E., “Raíces sociológicas de la ciencia”, Buenos Aires: Cuadernos del Boletín del Instituto de Sociología Nº 11 (1958): 147-170; Zilsel, E., “El problema de las leyes histórico-sociales”, *Cuadernos de Epistemología*, 24, Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, 1960; y en Horowitz, I.L. (ed.), *Historia y elementos de la sociología del conocimiento*, Buenos Aires: EUDEBA, 1968, pp. 304-314.

Carnap considera que las ideas de Kuhn “serán muy estimulantes para todos aquellos que estén interesados en la naturaleza de las teorías científicas y especialmente en las causas y formas de sus cambios” y que desarrolla aspectos de la historia y la filosofía de la ciencia con los que concuerda, aunque no haya tenido ocasión de profundizarlos, e incluso ilumina aspectos de su propia concepción.

El hecho de que la “Posdata” escrita por Kuhn a *La estructura de las revoluciones científicas* en 1969 fuera lo último editado en la colección anteriormente mencionada constituía el cierre perfecto de una época, no porque Kuhn acabara para siempre con esa tendencia, sino porque con él encontrarían cauce inquietudes que se iniciaran en Viena a principios de siglo.

A continuación presentaremos brevemente los conceptos fundamentales de *paradigma*, *comunidad científica*, *ciencia normal* y *revoluciones científicas* y que, junto a los de *anomalía*, *crisis* e *inconmensurabilidad*, son los que utiliza Kuhn para interpretar la ciencia y su desarrollo.

4.2.1. El paradigma (matriz disciplinar) y su desarrollo

Masterman, M., “La naturaleza de los paradigmas”, en Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, 1975, pp. 159-201.

Desde la aparición de la primera edición de *La estructura de las revoluciones científicas* en 1962, la noción de “paradigma”, central en la concepción de la ciencia de Thomas Kuhn, fue criticada por su vaguedad y ambigüedad. Una de sus comentaristas llegó inclusive a señalar veintiún sentidos distintos de este término, si bien reconociendo que no todos ellos son inconsistentes entre sí.

El término ‘paradigma’, que proviene del griego *παράδειγμα*, formado por ‘*παρα*’, cercano, aproximado, y ‘*δειγμα*’, muestra, demostración, significa ejemplo o caso de algo que hace de modelo para otros casos de lo mismo; es un ejemplo-tipo o típico.

Kuhn tomó seriamente esta crítica cuando, en la *Posdata* de 1969 a la segunda edición de *La estructura de las revoluciones científicas*, se dispuso a replicar a las objeciones que se le habían hecho a la primera edición. Allí di-

ce haber estado utilizando el término “paradigma” básicamente en dos sentidos distintos: 1) como conjunto de compromisos compartidos por una comunidad dada y 2) como soluciones concretas a problemas. Para evitar equívocos propone reemplazar el término “paradigma” por el de “matriz disciplinar”, que se refiere a la posesión común, por parte de quienes practican una disciplina particular, de una serie de elementos ordenados de distinta índole. Una matriz disciplinar está formada por *generalizaciones simbólicas*, leyes-esquema no discutidas por los científicos, formalizadas o fácilmente formalizables, y que actúan en parte como definiciones y en parte como leyes, estableciendo las relaciones más generales entre las entidades que pueblan el campo investigado; *modelos ontológicos o heurísticos*, que dan al grupo sus analogías y metáforas preferidas o permisibles y permiten visualizar y hacer más comprensible su comportamiento; *valores metodológicos*, como los que indican que los resultados deben ser exactos o no exceder cierto margen de error, o deben ser coherentes con otros conocimientos aceptados, etc.; y, por último, el cuarto componente, al que considera el aspecto más original y menos comprendido de su libro, los *ejemplos compartidos o ejemplares*, soluciones concretas que resuelven exitosamente problemas planteados por el paradigma-matriz disciplinar, adaptando las generalizaciones simbólicas y obteniendo las formas simbólicas específicas que requieren los problemas particulares, y que muestran a los científicos de una manera no discursiva qué entes pueblan el universo de la investigación, cuáles son las preguntas que pueden plantearse, cuáles las respuestas admisibles y cuáles los métodos para ponerlas a prueba.

Si bien dicha terminología no ha tenido mucha fortuna, ya que todo el mundo sigue hablando de “paradigmas”, lo que sí es importante tener en cuenta es que Kuhn intentó precisar la estructura de su noción básica, aunque, como veremos más adelante, recién encontraría su expresión más satisfactoria con los instrumentos formales proporcionados durante el período posterior por la concepción estructuralista de las teorías.

Refiriéndose a lo escrito por Stegmüller en ese sentido, el propio Kuhn sostiene: “Pensé que su discusión capturaba lo que yo tenía en mente mejor que cualquier otra que hubiera visto”, Kuhn, T., “Introduction to Presidential Address”, en D. Hull, M. Forbes y K. Okruhlick (eds.), *PSA 1992*, Vol. 2, East Lansing: Philosophy of Science Association, 1992, p. 4. Véase, además, Kuhn, T.S., “El cambio de teoría como cambio de estructura: comentarios sobre el formalismo de Sneed”, *Teorema* 7 (1977): 141-165; y en Roller, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 251-274; Kuhn, T.S., “Una conversación con Thomas S. Kuhn” (con Aristides Baltas, Kostas Gavroglu y Vassili Kindi), en Conant, J. y J. Haugeland (comps.), *El camino desde la estructura. Ensayos filosóficos 1970-1993, con una entrevista autobiográfica*, Barcelona: Paidós, 2002, pp. 301-373.

Después de que un paradigma-matriz disciplinar logra el consenso de la comunidad científica, se abre un amplio camino a la investigación, en la forma de resolución de problemas, enigmas o rompecabezas (“puzzle-solving”) estrechamente emparentados entre sí, que los científicos llevan a cabo bajo su guía durante un largo período de tiempo, denominado de “ciencia normal”. Los cien-

tíficos reconocen los problemas que el paradigma-matriz disciplinar plantea como similares a los ejemplos compartidos y los resuelven de una manera semejante a como lo hacen éstos. Mediante esta práctica el paradigma-matriz disciplinar va logrando una mayor precisión y articulación en su interior y con la naturaleza, es decir, va ampliando también su campo de aplicación.

Durante este período, los científicos se aproximan a una racionalidad de corte hipotético-deductivista cuando formulan la hipótesis de que tal o cual problema tendrá solución dentro de los marcos conceptuales del paradigma-matriz disciplinar, proponiendo –también de manera hipotética– que cierta modificación de la generalización simbólica lo logrará. Si la propuesta de una forma simbólica específica es exitosa, se amplía la aplicabilidad del paradigma-matriz disciplinar a la realidad, afirmándolo en su fertilidad; mientras que en el caso de ser refutada, el desacreditado es, según Kuhn, el propio científico y no el paradigma-matriz disciplinar. Ellos, antes bien, se aceptan o abandonan en su totalidad. Sin embargo, cuando se acumulan las frustraciones al intentar resolver *problemas* que debieran ser resueltos, éstos pasan de ser el motor del desarrollo del paradigma-matriz disciplinar, a percibirse como *anomalías* cuya existencia compromete la utilidad del paradigma-matriz disciplinar para la investigación. Se inicia un período de *crisis*.

Un grupo pequeño de investigadores comienza a trabajar desde perspectivas nuevas e incompatibles con las anteriores, hasta instaurar un nuevo paradigma-matriz disciplinar que tiene éxito en zonas problemáticas que la comunidad científica considera importantes, y promete resolver otras, algunas de las cuales ni siquiera estaban en la agenda del anterior. El grueso de la comunidad científica empieza a abandonar un paradigma-matriz disciplinar agotado en su heurística, para adoptar aquel que permite dejar atrás la sensación de inutilidad del propio trabajo, consumando una *revolución científica*.

Aunque inconmensurables –entendiendo con esto que no existe ninguna base común o neutra con la cual medir ambos paradigma-matriz disciplinares o un lenguaje común que permita la intertraducibilidad sin residuos ni pérdidas –, el proceso de abandono de un paradigma-matriz disciplinar y de aceptación simultánea de otro no es irracional, como pensaron los críticos de Kuhn. La elección entre paradigma-matrices disciplinares no se resuelve mediante la aplicación de normas o reglas que se basan sólo en la lógica (consistencia interna) o el experimento (consistencia externa). Esto no implica, sin embargo, que no haya buenas razones que guíen dicha elección. Sólo que estas razones (dentro de las que se encuentran la simplicidad, la exactitud, la coherencia, el alcance y la capacidad de generar investigaciones fructíferas) funcionan como valores o criterios compartidos por los científicos, pero susceptibles de ser aplicados de manera diferente por personas diferentes. Una racionalidad de otro tipo, distinta a la propuesta tradicionalmente, pero tan alejada de lo arbitrario como la lógica. Menos precisa, discutible, con riesgos en la elección que la comunidad científica disminuye distribuyendo entre sus miembros el peligro, hasta que el tiempo muestra con sus resultados lo acertado de la apuesta.

Kuhn propone así abandonar la *noción teleológica de progreso hacia la verdad*, según la cual los cambios de paradigma-matriz disciplinar llevan a los científicos cada vez más cerca de la verdad, prefiriendo hablar de un desarrollo –análogo al que propone la teoría de la evolución con respecto a las especies– que puede ser definido *desde* sus estadios anteriores, opuesto a un proceso de evolución *hacia* algo.

4.2.2. La comunidad científica

Otro de los elementos que diferencia la concepción de la ciencia de Thomas Kuhn de las tradicionales es su énfasis en que la *comunidad científica* es inseparable de los elementos teóricos y empíricos del paradigma-matriz disciplinar. Llegará a decir –de manera “circular, pero no viciosa”– que un paradigma-matriz disciplinar es lo que comparte una comunidad científica, mientras que una comunidad científica es aquella que comparte un paradigma-matriz disciplinar. Existen varios motivos para que introduzca esta noción. Por un lado, el historiador de la ciencia visualiza los cambios de teorías como un vuelco en las creencias de los únicos con autoridad para decidirlos, la comunidad de los expertos, en un contexto en el que había mostrado no existían hechos cruciales que obligaran a desechar una teoría y adoptar la otra, ni un lenguaje común que encauzara la discusión. Por otro, la existencia de la ciencia normal hace que el desarrollo del paradigma-matriz disciplinar no se deba a ningún científico aislado, sino al esfuerzo mancomunado de un conjunto de investigadores que lo hace avanzar cuando resuelve bajo su guía los innúmeros problemas que plantea.

El concepto de comunidad científica, al introducir una noción sociológica en el corazón mismo de los análisis filosóficos de la ciencia, contribuyó a cerrar la brecha existente entre los estudios epistemológicos, históricos y sociales, que pudieron entonces percibirse como aspectos complementarios y teóricamente compatibles de un mismo proceso cultural. Hablan de su fertilidad las investigaciones sociológicas e históricas que generó, y que toman a los paradigma-matrices disciplinares científicos como punto de referencia para identificar los colectivos que debían estudiarse, o, desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia, los análisis estructuralistas de la evolución histórica de paradigma-matrices disciplinares específicos, realizados luego de la introducción de ciertos conceptos pragmáticos, entre los que se encuentra la noción de comunidad científica.

Como otras propuestas de Kuhn, tuvo la virtud de suscitar adhesiones y críticas impensadas, y que surgen de lecturas sesgadas desde posiciones teóricas mutuamente adversas, como las del llamado “programa fuerte” en la sociología de la ciencia o el hipotético-deductivismo de Popper, ambas coincidiendo –contra la posición expresa de Kuhn– en leerlo como si excluyera los análisis de los contenidos cognoscitivos de la ciencia que, indudablemente, son lo central del concepto de paradigma-matriz disciplinar. Los primeros, legitimando desde Kuhn los estudios *exclusivamente* sociales de la ciencia, en una vuelta de tuerca de viejos dogmatismos que hacen depender por completo –sin autonomía alguna– las producciones culturales de instancias económicas, políticas o de relaciones entre clases sociales. Para el liberalismo a ultranza de Popper y sus seguidores, contrariados en su individualismo metodológico por el hecho de que se mencionara que el agente social de la ciencia era colectivo, y no individual, se trataba de un sociologismo indeseable, sin que esta etiqueta se justificara en las razones históricas, epistemológicas y empíricas que expusiera Kuhn.

Punto de coincidencia de tradiciones de investigación, la obra de Thomas Kuhn se encuentra, por eso mismo, en el centro de la filosofía de la ciencia de nuestros días. Quienes reconocen su inspiración en ella y la continúan con sus investigaciones, historiadores, sociólogos, psicólogos, filósofos analíticos o analistas formales de la ciencia, pueden saberse herederos, aun

oponiéndose a ellas, de corrientes que desde hace más de un siglo expresan su interés por este fenómeno, la ciencia, que revoluciona a la historia de la humanidad, haciéndola objeto de sus estudios metateóricos.

4.3. Las concepciones semánticas de las teorías

En la Unidad 1 señalamos que, partiendo del trabajo de J.C.C. McKinsey, E. Beth y J. von Neumann desarrollado entre los años treinta y cincuenta, se extiende y acaba imponiéndose en general, hacia fines de los setenta y en los ochenta, una nueva caracterización de las teorías científicas, denominada *concepción semántica o modelo-teórica de las teorías*. Esta nueva concepción es desarrollada, entre otros, por P. Suppes, B. van Fraassen, F. Suppe, R. Giere, M. Dalla Chiara, G. Toraldo di Francia, M. Przelecki, R. Wójcicki, G. Ludwig, N. Da Costa, J. Sneed, W. Stegmüller, C.U. Moulines y W. Balzer, constituyendo una verdadera *familia*, con distintas versiones que comparten algunos elementos generales.

La bibliografía que puede recomendarse sobre el tema es la siguiente:

Suppes, P., *Introducción a la lógica simbólica*, México: CECSA, 1966; Suppes, P., “¿Qué es una teoría científica?”, en Roller, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 167-178; Suppes, P., *Estudios de filosofía y metodología de la ciencia*, Madrid: Alianza, 1988; van Fraassen, B., *La imagen científica*, México: Universidad Nacional Autónoma de México/Paidós, 1996; Giere, R.N., *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*, México: Conacyt, 1992; Dalla Chiara, M., *Lógica*, Barcelona: Labor, 1976; Dalla Chiara, M. y G. Toraldo di Francia, *Confines: Introducción a la filosofía de la ciencia*, Barcelona: Crítica, 2001; Da Costa, N.C.A., *El conocimiento científico*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2000; Sneed, J., “Problemas filosóficos en la ciencia empírica de la ciencia: un enfoque formal”, en Roller, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 179-214; y parcialmente en *Teorema 7* (1977): 315-322; Stegmüller, W., *Estructura y dinámica de teorías*, Barcelona: Ariel, 1983; Stegmüller, W., “Dinámica de teorías y comprensión lógica”, *Teorema 4* (1974): 513-551; Stegmüller, W., “Estructura y dinámica de las teorías. Algunas reflexiones sobre J. D. Sneed y T. S. Kuhn”, *Diánoia 21* (1975): 60-84; Stegmüller, W., “Cambio teórico accidental (‘no substancial’) y desplazamiento de teorías”, en Roller, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 215-250; Stegmüller, W., “Planteamiento combinado de la dinámica teorías”, en Radnitzky, G. y G. Andersson (eds.), *Estructura y desarrollo de la ciencia*, Madrid: Alianza, 1984, pp. 233-264; Stegmüller, W., “La concepción estructuralista. Panorama, desarrollos recientes y respuestas a algunas críticas”, *Teorema 12* (1982): 159-179; Stegmüller, W., *La concepción estructuralista de las teorías*, Madrid: Alianza, 1981; Moulines, C.U., *Exploraciones metacientíficas*, Madrid: Alianza, 1982; Moulines, C.U., *Pluralidad y recursión*, Madrid: Alianza, 1991; Balzer, W., *Teorías empíricas: modelos, estructuras y ejemplos*, Madrid: Alianza, 1997.

El slogan del enfoque semántico es el siguiente: presentar una teoría no es presentar una clase de axiomas, presentar una teoría es presentar una cla-

se de modelos. Un modelo, en su acepción informal mínima, es un sistema o estructura que pretende representar, de manera más o menos aproximada, un “trozo de la realidad”, constituido por entidades de diverso tipo, que *realiza* una serie de afirmaciones, en el sentido de que en dicho sistema “pasa lo que las afirmaciones dicen” o, más precisamente, las afirmaciones son verdaderas en dicho sistema. Por ejemplo, si tomamos los principios monárquicos más generales, entonces España, Holanda, Bélgica, Suecia, etc., en tanto que sistemas o “partes de la realidad”, son modelos de dichos principios, mientras que Francia e Italia no lo son; si añadiéramos algunos principios monárquicos adicionales, quizás España y Holanda seguirían siendo modelos de ellos, pero quizás Bélgica y 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 (por ejemplo, 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, siendo el más usual el correspondiente a la teoría de modelos.

Un modelo es un *sistema* que satisface ciertos axiomas (en general, las leyes de la teoría). Un sistema es una *estructura* (en el sentido conjuntista) que pretende representar, de manera más o menos idealizada o aproximada, un pedazo de realidad. Una estructura, a su vez, es una sucesión finita de conjuntos de objetos y de relaciones definidas sobre esos conjuntos, o sea, una entidad de la forma: $\langle D_1, \dots, D_m, R_1, \dots, R_n \rangle$, donde $R_i \subseteq D_{j_1} \times \dots \times D_{j_k}$ (las D_i representan los llamados “conjuntos base”, es decir, los “objetos” de los que habla la teoría, su “ontología”, mientras que las R_j son relaciones, o funciones, entre dichos individuos, e.e. construidas a partir de los conjuntos base).

Puesto que la noción de modelo es una noción fundamentalmente semántica (algo es modelo de una afirmación si la afirmación es *verdadera* de ello), y que su análisis más habitual lo efectúa la teoría de modelos, se denomina *concepción semántica*, o *modelo-teórica*, a este nuevo enfoque que enfatiza la importancia de los modelos en el análisis de la ciencia; contrariamente, 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.

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 comprende 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.

■ ■ “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 clásica. 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 clásica. Uno de ellos será el relativo a la vinculación de los conceptos teóricos con la experiencia. La concepción clásica 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 (Hempel, 1973). 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 ocurriría 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 modelo de la teoría... $syss_{def} _ (...x...)$ ”, donde 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 sea 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 “trozo del mundo”, es “por definición” un sistema (modelo) 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, ya que 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 los 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 de los 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 de identidad, e.e. que los sistemas empíricos sean literalmente algunos de los modelos; o de aproximación, e.e. que los sistemas empíricos se aproximen (en un sentido que hay que precisar) a los modelos; o de subsunción, e.e. que los sistemas empíricos sean subsumibles (en un sentido que también hay que precisar) bajo los modelos. Pero más allá de los detalles, importantes como veremos, lo esencial es que la aserción empírica 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 como la teoría dice cómo es “el mundo”, esos “trozos del mundo” de los 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 aserción 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 aserción empírica, o a incluir la aserción en la identidad de la teoría. Pero, como se verá, hay buenos motivos para no identificar una teoría con su aserción empírica. Hacer eso oscurece la naturaleza estructuralmente 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 aserciones 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 aserción 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, aserciones, puesto que *decimos* que son verdaderas o falsas, no es un argumento suficiente, si hay buenas razones para no identificarlas 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 atribuírselo primariamente, pero sí derivativamente, y con ello es suficiente para el sentido importante de falsar: si la aserción empírica 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 la variante de la familia semántica conocida con el nombre de *concepción estructuralista de las teorías*. 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 el sentido de la teoría de modelos, para van Fraassen y Suppe son lo que ellos denominan *espacios de fase* o *de estado*, para Giere son modelos en cualquier sentido informal aceptable del término.

4.3.1. La concepción estructuralista de las teorías

La *concepción estructuralista de las teorías científicas* –también llamada *concepción estructural* o, simplemente, *estructuralismo*– es una de las principales escuelas actuales en filosofía de la ciencia y la que más atención ha dedicado al análisis y reconstrucción de teorías científicas particulares y la que mayores frutos ha dado en la clarificación de los problemas conceptuales y en la explicitación de los supuestos fundamentales de teorías científicas concretas. A pesar del nombre, este “estructuralismo” no debe ser confundido con el movimiento desarrollado fundamentalmente en lengua francesa bajo esa denominación. De hecho, el *estructuralismo metacientífico* no tiene relación histórica ni conceptual con las escuelas también llamadas “estructuralistas” pertenecientes a otras disciplinas, tales como la lingüística o la antropología, asociadas a los nombres de Saussure o Lévi-Strauss; sólo comparte con ellas la idea de que tras las apariencias del correspondiente objeto de estudio, en este caso las teorías científicas, subyace una entidad estructurada, estructura que debe ser hecha explícita mediante el análisis. Pero mientras que en el estructuralismo francés el término “estructura” permanece más bien vago –una estructura es una entidad en la que las “partes” se interrelacionan de algún modo para formar una “totalidad”–, en esta concepción metateórica el término “estructura” es usado en el sentido preciso de la lógica y teoría de conjuntos.

La concepción estructuralista nace en Estados Unidos con la obra fundacional de un antiguo discípulo de P. Suppes, J. Sneed, quien, investigando el modo de hacer afirmaciones *empíricas* con teorías científicas que incluyen en su formulación *términos teóricos*, profundiza la concepción de Suppes en la línea señalada por Adams, de forma tal de permitirle, además del análisis sincrónico de teorías particulares consideradas de modo aislado, el tratamiento de ciertas relaciones interteóricas generales (tales como la equivalencia y la reducción) y el de algunos aspectos diacrónicos señalados por Kuhn, precisándolos. El interés por esta obra (único exponente hasta entonces de lo que, a falta de otro nombre, se llamaría en esa época sencillamente “sneedismo”) de uno de los principales responsables de la recuperación en Alemania de la filosofía analítica en general y de la filosofía de la ciencia en particular y de su difusión en los medios filosóficos centroeuropeos, W. Stegmüller, fue decisivo para su suerte. Éste se inicia en los años cincuenta en la tradición del empirismo lógico, y más específicamente bajo la influencia de Carnap –influencia que, en cierto sentido, no cesa jamás de sentirse en su trabajo–, dándose como tarea en los años sesenta hacer accesible al público de habla alemana los *Problemas y resultados de la filosofía de la ciencia y la filosofía analítica*. Luego de escribir los dos primeros volúmenes de esa colección, en donde se ocupa de los asuntos centrales abordados durante el período clásico –el concepto de explicación científica en el primer tomo, y la relación entre teoría y experiencia (más particularmente el problema de los términos teóricos) en el segundo– se ve conducido a reconocer las dificultades y limitaciones del tratamiento realizado –que podrían resumirse en: tener que recurrir a elementos pragmáticos en el análisis formal de la explicación científica y las dificultades para concebir una interpretación adecuada del rol de los términos teóricos en las teorías científicas. Esta situación lo sumerge en una “crisis intelectual” (Stegmüller, 1973, p. XI), de la cual se recupera gracias a la obra de Sneed y a la relectura que, desde ella, hace

Saussure, F. de, *Curso de lingüística general*, Madrid: Akal, 1980; Lévi-Strauss, C., *Antropología estructural*, México: Fondo de Cultura Económica, 1969; ver también Piaget, J., *El estructuralismo*, Buenos Aires: Proteo, 1969.

Sneed, J.D., *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht: Reidel, 1971, 2ª ed. revisada, 1979.

Stegmüller, W., *Wissenschaftliche Erklärung und Begründung*, Berlin: Springer, 1969. Stegmüller, W., *Theorie und Erfahrung*, Berlin: Springer, 1970 (de este último hay traducción castellana: *Teoría y experiencia*, Barcelona: Ariel, 1979).

Stegmüller, W., *Estructura y dinámica de teorías*, Barcelona: Ariel, 1983.

Stegmüller, W., *La concepción estructuralista de las teorías*, Madrid: Alianza, 1981; Stegmüller, W., *Die Entwicklung des neuen Strukturalismus seit 1973*, Berlin-Heidelberg: Springer, 1986.

Moulines, C.U., *Zur logischen Rekonstruktion der Thermodynamik*, tesis doctoral, Ludwig-Maximilian-Universität München, 1975; Moulines, C.U., *Exploraciones meta-científicas*, Madrid: Alianza, 1982.

Balzer, W., Moulines, C.U. y J.D. Sneed, *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Dordrecht: Reidel, 1987.

Diederich, W., Ibarra, A. y Th. Mormann, "Bibliography of Structuralism I", *Erkenntnis* 30 (1989): 387-407; Diederich, W., Ibarra, A. y Th. Mormann, "Bibliography of Structuralism II (1989-1994 and Additions)", *Erkenntnis* 41 (1994): 403-418.

Balzer, W. y C.U. Moulines (eds.), *Structuralist Theory of Science. Focal Issues, New Results*, Berlin: de Gruyter, 1996.

Balzer, W., Moulines, C.U. y J.D. Sneed (eds.), *Structuralist Knowledge Representation: Paradigmatic Examples*, Amsterdam: Rodopi, 2000.

Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes-Universidad Autónoma de Zacatecas-Universidad Rovira i Virgili, 2002.

ahora del trabajo de Kuhn. En el siguiente volumen de la colección, *Estructura y dinámica de teorías* (1973), Stegmüller expone, desarrolla y difunde las ideas de Sneed. Por su parte, éste trabajó durante dos semestres, entre los años 1974-1975, como profesor invitado en el Seminario de Filosofía de la Ciencia y Estadística de la Universidad de Munich, dirigido por Stegmüller. Fundamentalmente de la mano de este último y de la de sus discípulos C.U. Moulines y W. Balzer, continúa desarrollándose y difundiendo durante los años setenta y ochenta, en especial en Centroeuropa, la concepción que Stegmüller denominara en 1973 "concepción no-enunciativa de las teorías" y desde 1979, a sugerencia de Y. Bar-Hillel, "concepción estructuralista de las teorías". En esos años esta concepción amplía el aparato metateórico inicial y extiende su ámbito de aplicación hacia diversas disciplinas científicas. Los resultados principales de esta primera época se recogen a finales de los ochenta en la *summa* estructuralista de Balzer, Moulines & Sneed (1987).

Una bibliografía muy completa de los trabajos en esta época, desde y sobre la concepción estructuralista, se encuentra en Diederich, Ibarra & Mormann (1989), bibliografía que es actualizada en Diederich, Ibarra & Mormann (1994).

Además, se pueden encontrar en Balzer & Moulines (1996) los desarrollos epistemológicos y metodológicos generales más recientes, mientras que en Balzer, Moulines & Sneed (2000) se recogen algunas de las aplicaciones del programa estructuralista al análisis de teorías empíricas particulares de la ciencia real. Aunque el principal núcleo de la escuela sigue encontrándose en Centroeuropa, en la actualidad la escuela también tiene fuerte presencia en los Países Nórdicos, en los Países Bajos, en el sur de Europa y en Hispanoamérica. En Díez & Lorenzano (2002) se presentan tanto algunos desarrollos generales recientes como aplicaciones.

Si bien gran parte del aparato de análisis es original, en el surgimiento y desarrollo del estructuralismo han influido las escuelas metacientíficas anteriores: la filosofía clásica de la ciencia, especialmente Carnap; los llamados en su día *nuevos filósofos* de la ciencia, principalmente Kuhn y en menor medida Lakatos; y la escuela modeloteórica de Suppes. De los filósofos clásicos hereda su confianza en los métodos e instrumentos formales como medio de análisis de una parte importante de la actividad científica y de los resultados o productos de dicha actividad. De los historicistas asume que las teorías no son un conjunto de enunciados o axiomas, sino que son entidades dúctiles y sujetas a evolución histórica tanto intrateórica como interteórica, por lo que un análisis de la estructura de las teorías sólo podrá considerarse adecuado si presenta a éstas como entidades susceptibles de evolución; también aceptan algunas ideas específicas importantes, como la contenida en la noción kuhniana de paradigma-matriz disciplinar, según la cual para la identidad de las teorías son esenciales tanto las leyes (esquemas de ley o *generalizaciones simbólicas*) como las aplicaciones (o *ejemplares*). De la escuela de Suppes recoge la tesis semanticista básica de que es metateóricamente más adecuado e iluminador identificar las teorías mediante sus modelos que mediante sus afirmaciones o axiomas; así como la predilección, no compartida por todos los semanticistas, por la teoría de conjuntos como instrumental formal con el que desarrollar el análisis.

Por otro lado, la concepción estructuralista es, dentro de la familia de concepciones semánticas, la que ofrece un análisis más detallado de la estructura fina de las teorías, a través tanto del tratamiento de una mayor cantidad

de elementos como de una mejora en el de los previamente identificados. Los principales elementos de este análisis son los siguientes:

- (a) Se rechaza la tradicional 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 *condiciones de ligadura* (“*constraints*”).
- (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 modelo-teóricos las tradicionales relaciones interteóricas de *reducción* y *equivalencia*.

Antes de comenzar con la exposición de esta concepción, sin embargo, presentaremos la versión de la concepción semántica desarrollada por Suppes y su modificación por parte de Adams, que constituye otro de los puntos de partida del estructuralismo, el único no comentado hasta ahora.

El concepto de teoría de Suppes

Patrick Suppes fue uno de los primeros en criticar la práctica general de la concepción heredada de identificar las teorías con determinadas formulaciones lingüísticas. En pleno apogeo de la concepción clásica y de su enfoque sintáctico-axiomático, Suppes plantea ya en los cincuenta las principales objeciones que, como vimos más arriba, 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; 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 modeloteórica 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

McKinsey, J.C.C., Sugar, A.C. y P. Suppes, “Fundamentos axiomáticos para la mecánica de partículas clásica”, *Lecturas filosóficas* 1, Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1978; Suppes, P., *Introducción a la lógica simbólica*, México: C.E.C.S.A., 1966, cap. 12; Suppes, P., “¿Qué es una teoría científica?”, en Roller, J.L. (ed.), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 167-178; Suppes, P., *Set-theoretical Structures in Science*, Stanford: Stanford University, 1970.

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 semi-formal 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 modeloteórico 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 matemática 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 $_$ *sys* *def* $_$ (... x ...)” donde $_$ 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 constricciones 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, presentamos como ejemplo la definición del predicado “ x es un sistema de mecánica clásica del choque”.

La mecánica clásica del choque constituye un caso muy sencillo, aunque real, de teoría física. En su forma primigenia fue concebida por Descartes (en su tratado póstumo *El mundo o Tratado de la luz*), antes del surgimiento de la mecánica newtoniana, aunque la versión realmente correcta se la debemos a Huygens en la segunda mitad del siglo XVII. El dominio básico de dicha teoría es un conjunto (finito) de partículas que chocan entre sí. La teoría se interesa solamente por la configuración del sistema de partículas antes y después del choque, sin decir nada acerca del fenómeno del choque mismo.

Definición: x es un sistema de mecánica (clásica) del choque syss_{def} existen P, T, v, m, t_1, t_2 tales que:

- (1) $x = \langle P, T, v, m \rangle$
- (2) P es un conjunto finito no vacío.
- (3) T es un conjunto que contiene dos elementos t_1 y t_2 .
- (4) v es una función de $P \times T$ en el conjunto de vectores tridimensionales (tríos ordenados) de números reales.
- (5) m es una función de P en el conjunto de números reales tal que, para todo $p \in P$: $m(p) > 0$.
- (6) $\sum_{p \in P} m(p) \cdot v(p, t_1) = \sum_{p \in P} m(p) \cdot v(p, t_2)$

(1) presenta los constituyentes de las estructuras. (2)-(5) son los axiomas impropios, meras tipificaciones lógico-matemáticas de las entidades que constituyen la estructura. La idea es que P es un conjunto de cuerpos discretos, e.e. de cuerpos físicos cuyo tamaño es desdeñable con respecto al tamaño global del sistema o que, al menos, no manifiesten efectos de rotación, que no haya fricción en el aire o de otro medio, que coincidan las partículas realmente en un lugar en el espacio, etc., que pueden ser llamados “partículas”, tales que en una estructura x determinada ese conjunto contiene dos bolas de billar; en otra, de masilla; etc. T es un conjunto de dos instantes temporales, t_1 y t_2 , para “antes” y “después” del choque. v es la función velocidad, que asigna a cada partícula del sistema un determinado vector-velocidad de tres componentes (un componente para cada dirección en el espacio) en cada instante temporal. m es la función masa, que asigna a cada partícula un número real positivo, su masa (que es independiente del tiempo). (6) es el axioma propio, expresa la ley propiamente dicha de esta teoría: la llamada “ley de la conservación de la cantidad de movimiento” (o “ley de la conservación del momento”): la suma total del producto de las masas por las velocidades de las distintas partículas del sistema es la misma antes y después del choque,

e.e. la cantidad de movimiento (o momento) del sistema completo de partículas antes y después del choque se conserva.

Este es un ejemplo típico de la axiomatización suppesiana de una teoría mediante la definición de un predicado conjuntista (en el lenguaje de la teoría de conjuntos). Debe quedar claro que lo que se hace es, como habíamos anunciado, definir cierta clase de modelos. Las estructuras que satisfacen (1)-(6) son, “por definición”, sistemas mecánicos clásicos del choque. Presentar la mecánica clásica del choque 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)-(5), meras tipificaciones, determinan simplemente el tipo lógico-matemático de las entidades que constituyen los sistemas. Las entidades de ese tipo lógico, que satisfacen (1)-(5), 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 la ley propiamente dicha. Si una estructura no tiene una función que asigne a los elementos del dominio números reales, no tiene sentido preguntarse si cumple o no la ley de la conservación de la cantidad de movimiento, pues tal principio involucra funciones de ese tipo. A las estructuras que satisfacen las tipificaciones Suppes las llama –siguiendo a Tarski– *realizaciones posibles*.

Suppes, P., “A Comparison of the Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences”, *Synthese* 12 (1960): 287-301. Traducción castellana: “Una comparación del significado y los usos de los modelos en las matemáticas y las ciencias empíricas”, en Suppes, P., *Estudios de filosofía y metodología de la ciencia*, Madrid: Alianza, 1988, pp. 109-123. (cf. Suppes (1960), pp. 287-288).

Lo que debe quedar claro es que lo esencial de una teoría no son (sólo) sus realizaciones posibles, 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 realizaciones posibles las cumplirán, pero otras no. No por tener el tipo de conjuntos y funciones que especifican (1)-(5) toda estructura va a satisfacer (6); puede ser que tenga ese tipo de entidades, pero que sumando la masa por la velocidad de las distintas partículas del sistema antes del choque el resultado sea distinto al obtenido después del choque (como ejercicio, el lector puede construir un ejemplo de un sistema puramente numérico que cumpla con (1)-(5), pero no con (6)). 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 del conjunto de realizaciones posibles.

Adams y las aplicaciones pretendidas

Hasta aquí lo esencial de la nueva caracterización que hace Suppes de las teorías científicas. Ahora veremos 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 la mecánica del choque, y que Suppes 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, velocidad, etc. La cuestión es, ¿quién dice eso?, ¿cómo dice eso la teoría? Puede ocurrir que el predicado sea satisfecho por entidades que ontológicamente no tengan nada 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 axiomas. 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 realizaciones posibles, sino entre las realizaciones efectivas que cumplen con (6), además de con (1)-(5), 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 la observación de cuánto una partícula desplaza a otra tras chocar con ella a cierta velocidad. 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 una 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, sólo 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, ¿de qué cosas dice ella que son así?: ¿bolas de billar?, ¿de masilla?, ¿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, E.W., “The Foundations of Rigid Body Mechanics and the Derivation of Its Laws from Those of Particle Mechanics”, en Henkin, L., Suppes, P. y A. Tarski (eds.), *The Axiomatic Method*, Amsterdam: North Holland, 1959, pp. 250-265, p. 258.

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”.

Son modelos pretendidos de la mecánica del choque, por ejemplo, el sistema formado por dos bolas de billar, o el constituido por bolas de masilla, 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.

■ ■ “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.” (Adams, 1959, pp. 259-260). ■ ■

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 ” (Adams, 1959, 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 em-

bargo 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.

En lo que sigue, presentaremos de manera más detallada algunos de los elementos del análisis estructuralista. La presentación intentará eludir el alto grado de tecnicismo formal de esta escuela, cuyo rigor es, para los miembros de la escuela, uno de sus principales logros.

Los componentes básicos 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, 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 la mecánica del choque.

(2.1) Modelos potenciales y modelos actuales

Vimos que algunos de los axiomas del predicado conjuntista, en ese caso los axiomas (1)-(5), 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*. El axioma (6) no es así, impone constricciones efectivas adicionales no meramente lógicas, expresa la ley en sentido propio de la teoría. Eso significa que de todas las estructuras que satisfacen (1)-(5), sólo algunas satisfacen además (6). Llamaremos *modelos potenciales* (de la teoría en cuestión), y denotaremos su conjunto mediante ‘ Mp ’, 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 $M \subseteq Mp$.

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, Mp , 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 del choque 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. “gran bola de masilla”) que es la combinación de dos partículas p_2 (“bola de masilla”) y p_3 (“bola de masilla”), 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 par-

tícula 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 provisionalmente, 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 teoricidad cuanto de T -teoricidad, teoricidad 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 -teoricidad 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 velocidad de una partícula [haciendo ciertos cálculos a partir de] mediante [gracias a] su trayectoria. Puedo determinar la masa de un objeto viendo cuánto se desplaza otra masa tras chocar con ella a cierta velocidad. Ellos son procedimientos de determinación, uno de la velocidad, otro de la masa. 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 del choque (MC) que venimos usando como ejemplo, *velocidad* y *tiempo* son MC -no teóricos, conceptos previos, mientras que *masa* es un concepto MC -teórico, el concepto propiamente mecánico.

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 $\langle P, t, v \rangle$, que no contienen parámetros MC -teóricos; mientras que los modelos potenciales $\langle P, t, v, m \rangle$ incluyen además el parámetro propiamente mecánico-teórico.

Con ello concluimos la presentación del núcleo, la parte formal de los elementos teóricos. El núcleo K se expresa mediante la serie $K = \langle Mp, M, Mpp, GC \rangle$, donde Mp es el conjunto de modelos potenciales, Mpp el de los modelos parciales ($Mpp = r \setminus O(Mp)$), 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 del choque, son aplicaciones pretendidas cosas como dos bolas de billar o de masilla. 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 *velocidad* y *tiempo*, es decir, son descripciones de los siste-

mas en términos puramente no-teóricos que presentan su velocidad en los instantes temporales. 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 de otra previa o antecedente. Los datos de la mecánica del choque, a los que se pretende aplicar y sobre los que se contrasta, están cargados, pero no cargados de la teoría del choque. Cada aplicación pretendida es entonces un determinado *modelo parcial*, por tanto $I \subseteq Mpp$.

(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 dos bolas de billar determinadas que chocan, con un “antes” y un “después” particulares, sino cualesquiera dos bolas de billar chocan, con distintos “antes” y “después”; y, por supuesto no sólo las bolas de billar, también las de masilla, y las naranjas, y los pomelos, 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* son 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 empíricos, descritos *T*-no teóricamente, 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 (partículas que chocan), son tales que sus valores (velocidad antes y después del choque) coinciden con los que deberían tener si en los sistemas estuvieran además presentes ciertos parámetros teóricos (masa) interactuando con los no-teóricos del modo especificado en la mecánica del choque.

(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 había enfatizado Kuhn, 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 paradigmas-matrices disciplinares en cierto momento de su evolución.

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 ni-

veles 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 del choque que hemos venido manejando. La ley fundamental de la mecánica clásica del choque es, como vimos, la ley de la conservación del momento, que se supone se aplica a todos los tipos de choque. Sin embargo, podemos añadir más contenido a la teoría especializando el predicado conjuntista básico en estructuras que son aplicables a tipos más especiales de choques y que añaden más información cuantitativa acerca de ellos. Dos de tales especializaciones lo constituyen los casos de los choques *elásticos* y de los choques *perfectamente inelásticos*. Históricamente, jugaron un papel importante en el desarrollo de la mecánica del choque durante el siglo XVII, y todavía hoy poseen significado didáctico y práctico. Para tratar con el primer tipo de choque, en el cual dos objetos rebotan con las mismas velocidades de antes del choque, pero en direcciones opuestas, se añade la ley de la conservación de la energía cinética (que se puede simbolizar como $\sum_{p \in P} m(p) \cdot |v(p, t_1)|^2 = \sum_{p \in P} m(p) \cdot |v(p, t_2)|^2$) a la ley de la conservación del momento. Para el tratamiento del segundo caso, en donde los objetos que chocan no rebotan, se requiere que las velocidades de todas las partículas después del choque sean las mismas (lo cual puede simbolizarse como $\forall p, p' \in P: v(p, t_2) = v(p', t_2)$). La ley de la conservación del momento y aquellas que rigen en los choques elásticos o perfectamente inelásticos no están al mismo nivel, y es importante que este hecho se refleje en la estructura de la teoría. No todo sistema que se ajusta a la ley de la conservación del momento satisface además la ley de la conservación de la energía cinética. Hay sistemas mecánicos que satisfacen la ley de la conservación del momento que, sin embargo, incumplen dicha ley, p.e., sistemas en donde las partículas que chocan no rebotan. Así, mientras todo sistema mecánico satisface ley de la conservación del momento, no todos ellos satisfacen la ley de la conservación de la energía cinética: sólo lo hacen algunos. Los modelos actuales que satisfacen la ley de la conservación de la energía cinética además de ley de la conservación del momento son una “especialización” de los que sólo satisfacen ley de la conservación del momento. Los modelos actuales más generales de la mecánica son los que satisfacen ley de la conservación del momento. A partir de ahí se pueden abrir varias líneas de especialización. Algunos satisfarán además la ley de la conservación de la energía cinética. Otros no, pero satisfarán otro u otros principios específicos, como el dado para los choques perfectamente inelásticos. A partir de la ley de la conservación del momento, la mecánica clásica del choque se va especializando en diversas direcciones específicas, imponiendo condiciones adicionales con la intención de dar cuenta de aplicaciones igualmente específicas.

Este es el panorama que pretende recoger y expresar la noción estructuralista de *red teórica*. La idea que hay detrás de 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 dentro de 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. Pero este autor enfatizó 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 del choque, p.e., es, en un sentido interesante, una misma teoría de Descartes a Huygens, a pesar de los cambios que sufre durante la segunda mitad del siglo XVII. Este fenómeno es lo que, imprecisamente, expresaba Kuhn mediante la noción de *ciencia normal*. Con ayuda del aparato visto, el estructuralismo pretende hacer algo más precisa esta idea. 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 que el estructuralismo expresa de modo preciso, tan preciso como es posible.

(7) Vínculos ("links") y relaciones interteóricas

De acuerdo con la concepción estructuralista, es fundamentalmente inadecuado considerar a las teorías empíricas, en sus dimensiones sincrónica y diacrónica, como entidades aisladas. De hecho, la identidad de una teoría

empírica dada (elemento teórico, red teórica o evolución teórica) sólo puede ser capturada si se toma en cuenta no sólo a ella, sino también a su “entorno” teórico, e.e. si se toman en cuenta sus relaciones con otras teorías. Siguiendo con el enfoque modelo-teórico, las relaciones interteóricas son interpretadas no como relaciones entre (conjuntos de) enunciados sino como relaciones entre (conjuntos de) modelos pertenecientes a teorías diferentes. A fin de analizar este tipo de relación modelo-teóricamente, ha sido introducido en la noción estructuralista de teoría el concepto de *vínculo* (“link”), que en particular se simboliza mediante “L” y su clase total por medio de “GL”.

Recordemos que, dentro de los conceptos que figuran en una teoría (elemento teórico, red teórica o evolución teórica), algunos son *T*-teóricos, en el sentido de ser propios de ella, de tener una determinación *T*-dependiente, que presupone para su determinación de la validez de sus leyes, mientras que otros son *T*-no teóricos, en el sentido de ser anteriores a ella, de tener una determinación *T*-independiente, que no presupone la validez de las leyes de la teoría. Pero que un concepto sea no teórico para una teoría *T* (que posee su aparato conceptual M_p) no significa que no lo sea para otra teoría, digamos *T'* (con su propio aparato conceptual $M_{p'}$). De este modo, la teoría *T* utiliza información proveniente de la teoría *T'*. Y esta “transmisión de información de una teoría a otra” es justamente una de las situaciones susceptibles de ser capturadas mediante los vínculos, que se definen como relaciones sobre los modelos potenciales M_p y $M_{p'}$ de las dos teorías *T* y *T'*, respectivamente. Volviendo al caso ya comentado de la mecánica clásica del choque, vínculos de este tipo lo constituyen aquellos que relacionan dicha teoría con, por ejemplo, la cronometría o la geometría física, a través de los conceptos de tiempo *t* y velocidad *v*; estos conceptos se encuentran presentes en las teorías mencionadas, pero mientras que tiempo y velocidad son teóricos de la cronometría y geometría física, respectivamente, determinándose a través de ellas, son no-teóricos respecto de la mecánica del choque, que los toma “prestados” de dichas teorías. Los vínculos deben ser incluidos en un tratamiento completo de las teorías científicas (elementos teóricos, redes teóricas o evoluciones teóricas), constituyendo así un elemento más, el último, del núcleo *K*, de modo tal que éste queda ahora caracterizado mediante la serie $K = \langle M_p, M, M_{pp}, GC, GL \rangle$.

Para concluir sólo mencionaremos que las típicas relaciones globales entre teorías –tales como la reducción y la equivalencia– son consideradas dentro de la concepción estructuralista como constituidas por vínculos. Con el surgimiento de la mecánica newtoniana de partículas, que bien pudiera ser considerada como una generalización y un enriquecimiento –consistente fundamentalmente en el añadido del concepto de fuerza– de la mecánica del choque, ésta dejó de tener una existencia independiente, para pasar a tenerla “parasitaria” de aquella, acostumbrando ser presentada dentro del marco conceptual de la mecánica newtoniana, como una “sub-teoría”. Esta situación histórica puede ser capturada formalmente mediante la noción de reducción: entre dos teorías (elementos teóricos, redes teóricas) *T* y *T'* se da una relación de reducción *r*, si y sólo si (1) existe una correspondencia entre los marcos conceptuales respectivos de la teoría reducida y la reductora (formalmente, si *r* es función que va de los modelos potenciales de *T* (M_p) a los modelos potenciales de *T'* ($M_{p'}$), tal que, en un número finito de pasos, pueda determinarse qué modelo de M_p corresponde a cuál de $M_{p'}$ o a la inversa); (2) las leyes fundamentales de la teoría reducida son implicadas, al menos

aproximativamente, por las leyes fundamentales de la teoría reductora (formalmente, si existen n conjuntos no vacíos M_1', \dots, M_n' incluidos en M_0' , tales que $\rho[M_1' \cup \dots \cup M_n'] \subseteq \approx M_0$); (3) todas las aplicaciones intencionales exitosas de la teoría reducida pueden reinterpretarse (al menos aproximativamente) como aplicaciones intencionales exitosas de la teoría reductora (formalmente, $I_0 \cap r[M_0] \subseteq \approx \rho_e[I_0^* \cap r[M_0^*]]$, en donde ρ_e es la relación generada por r a nivel no-teórico: $\rho_e = r[r]$). Así, la mecánica clásica del choque pudo ser “incorporada” a la mecánica newtoniana de partículas debido a que ésta reducía aquella.



Carnap, R., *Fundamentación lógica de la física*, Buenos Aires: Sudamericana, 1969, caps. XXIII-XXIV.

Díez, J.A. y P. Lorenzano, “La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX”, en: Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, 2002, pp. 13-78.

Díez, J.A. y C.U. Moulines, *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona: Ariel, 1997, caps. 8, 9, § 1 y 2, 10, 13.

Kuhn, T.S., *La estructura de las revoluciones científicas*, México: Fondo de Cultura Económica, 1971.

Moulines, C.U., *Exploraciones metacientíficas*, Madrid: Alianza, 1982, cap. 2.2.



1. Mencione las teorías o paradigmas a los que se suelen hacer referencia en su disciplina de formación como pertenecientes a ella.



2. En un libro de texto de su disciplina de formación en donde se presente alguna teoría (o paradigma), identifique los términos lógico-matemáticos y los términos técnicos, señalando qué tipo de conceptos expresan estos últimos (si conceptos clasificatorios, comparativos o métricos). Asimismo, señale cuáles de los términos técnicos deberían ser considerados como observacionales y cuáles como teóricos y establezca cuál es la relación entre unos y otros, es decir, cómo deberían ser las “reglas de correspondencia”. Señale también si dentro de los términos teóricos, además de los “primitivos” (introducidos sólo mediante axiomas –leyes– de la teoría o reglas de correspondencia –postulados de significación–), hay algunos que son introducidos mediante definiciones (los llamados “definidos”) e identifique ambos tipos. Para ello, por último, también identifique los axiomas o leyes de la teoría.

 3. En un libro de texto de su disciplina de formación en donde se presente alguna teoría (o paradigma), señale a grandes rasgos cuáles son sus generalizaciones simbólicas, cuáles sus modelos ontológicos o heurísticos, cuáles sus valores metodológicos (discutiendo si son distintivos de dicho corpus teórico o no) y cuáles sus ejemplos compartidos o ejemplares.

 ¿Le parece que en su disciplina de formación se ha alcanzado –en algún momento del pasado o en el presente– el consenso respecto de bajo qué paradigma trabajar o le parece más bien que coexisten –no siempre pacíficamente– distintas escuelas o grupos trabajando bajo distintos paradigmas?

 ¿Le parece que su disciplina de formación ha atravesado en su desarrollo por las etapas señaladas por Kuhn?

 4. En un libro de texto de su disciplina de formación en donde se presente alguna teoría (o paradigma), identifique los términos lógico-matemáticos y los términos técnicos, señalando qué tipo de conceptos expresan estos últimos (si conceptos clasificatorios, comparativos o métricos) y, por lo tanto, si éstos establecen el/los dominio/s de objetos de los que habla la teoría o si son relaciones o funciones (numéricas o no) definidas sobre dicho/s dominio/s de objetos. Asimismo, señale cuáles de los términos técnicos deberían ser considerados como propios, distintivos o característicos de la teoría, e.e. como teóricos respecto de esa teoría, y cuáles no, e.e. cuáles deberían ser considerados como no-teóricos en relación con esa teoría. Identifique las aplicaciones propuestas o intencionales de la teoría. Identifique además las leyes de la teoría y señale si todas tienen el mismo estatus o alcance. Por último, señale a grandes rasgos cuáles serían las condiciones de ligadura y cuáles los vínculos interteóricos de dicha teoría.

 ¿Qué relación hay entre los distintos usos del término “modelo” en su disciplina de formación?

 ¿Qué relación hay entre los distintos tipos de análisis de las teorías o paradigmas efectuados más arriba?

Referencias bibliográficas

- Achinstein, P. (1968), *Concepts of Science*, Baltimore: The Johns Hopkins Press.
- Achinstein, P. (1989), "Términos observacionales", 1ª edición 1968, en: Olivé, L. y A.R. Pérez Ransanz (eds.) (1989), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, México: Siglo XXI-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 330-354.
- Achinstein, P. (1989), "Términos teóricos", 1ª edición 1968, en: Olivé, L. y A.R. Pérez Ransanz (eds.) (1989), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, México: Siglo XXI-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 355-381.
- Adams, E.W. (1959), "The Foundations of Rigid Body Mechanics and the Derivation of Its Laws from Those of Particle Mechanics", en: Henkin, L., Suppes, P. y A. Tarski (eds.) (1959), *The Axiomatic Method*, Amsterdam: North Holland, pp. 250-265.
- Balzer, W. (1978), *Empirische Geometrie und Raum-Zeit-Theorie in mengentheoretischer Darstellung*, Kronberg: Scriptor.
- Balzer, W. (1985), *Theorie und Messung*, Berlin: Springer.
- Balzer, W. (1997), *Teorías empíricas: modelos, estructuras y ejemplos*, 1ª edición 1982, Madrid: Alianza.
- Balzer, W. y C.U. Moulines (eds.) (1996), *Structuralist Theory of Science. Focal Issues, New Results*, Berlin: de Gruyter.
- Balzer, W., Moulines, C.U. y J.D. Sneed (1987), *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Dordrecht: Reidel.
- Balzer, W., Moulines, C.U. y J.D. Sneed (eds.) (2000), *Structuralist Knowledge Representation: Paradigmatic Examples*, Amsterdam: Rodopi.
- Blanché, R. (1965), *La axiomática*, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Braithwaite, R. (1965), *La explicación científica*, 1ª edición 1953, Madrid: Tecnos.
- Campbell, N. (1986), "La estructura de las teorías", 1ª edición 1920, en: Roller, J.L. (ed.) (1986), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 19-46.
- Carnap, R. (1967), "El carácter metodológico de los términos teóricos", 1ª edición 1956, en: Feigl, H. y M. Scriven (eds.) (1967), *Los fundamentos de la ciencia y los conceptos de la psicología y del psicoanálisis*, Santiago: Universidad de Chile, pp. 53-93.
- Carnap, R. (1958), *Introduction to Symbolic Logic and Its Applications*, New York: Dover.
- Carnap, R. (1959), "Beobachtungssprache und theoretische Sprache", *Dialectica* 12, pp. 236-248.
- Carnap, R. (1969), *Fundamentación lógica de la física*, 1ª edición 1966, Buenos Aires: Sudamericana.
- Conant, J.B. (1947), *On Understanding Science*, New Haven: Yale University Press.

- Da Costa, N.C.A. (2000), *El conocimiento científico*, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Dalla Chiara, M. (1976), *Lógica*, Barcelona: Labor.
- Dalla Chiara, M. y G. Toraldo di Francia (2001), *Confines: Introducción a la filosofía de la ciencia*, Barcelona: Crítica.
- Diederich, W., Ibarra, A. y Th. Mormann (1989), "Bibliography of Structuralism I", *Erkenntnis* 30, pp 387-407.
- Diederich, W., Ibarra, A. y Th. Mormann (1994), "Bibliography of Structuralism II (1989-1994 and Additions)", *Erkenntnis* 41, pp. 403-418.
- Díez, J.A. y P. Lorenzano (2002), "La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX", en: Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.) (2002), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, pp. 13-78.
- Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.) (2002), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili.
- Feyerabend, P. (1974), *Contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*, 1ª edición 1970, Barcelona: Ariel.
- Feyerabend, P.K. (1981), *Tratado contra el método*, 1ª edición 1975, Madrid: Tecnos.
- Fleck, L. (1986), *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*, 1ª edición 1935, Madrid: Alianza.
- Giere, R.N. (1992), *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*, 1ª edición 1988, México: Conacyt.
- Hanson, N.R. (1977), *Patrones de descubrimiento. Observación y explicación*, 1ª edición 1971, Madrid: Alianza.
- Hempel, C.G. (1988), *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*, 1ª edición 1952, Madrid: Alianza.
- Hempel, C.G. (1979), *La explicación científica*, 1ª edición 1965, Buenos Aires: Paidós.
- Hempel, C.G. (1989), "El significado de los términos teóricos: una crítica de la concepción empirista estándar", 1ª edición 1973, en: Olivé, L. y A.R. Pérez Ransanz (eds.), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, México: Siglo XXI-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 439-453.
- Hoyningen-Huene, P. (1989), *Die wissenschaftsphilosophie Thomas S. Kuhns*, Braunschweig-Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn.
- Koffka, K. (1973), *Principios de psicología de la forma*, Paidós: Buenos Aires.
- Köhler, W. (1972), *Psicología de la forma*, Madrid: Biblioteca Nueva.
- Köhler, W., Koffka, K. y F. Sander (1963), *Psicología de la forma*, Buenos Aires: Paidós.
- Körner, S. (1967), *Introducción a la filosofía de la matemática*, 1ª edición 1960, México: Siglo XXI.
- Koyré, A. (1990), *Estudios galileanos*, 1ª edición 1966, México: Siglo XXI.
- Kuhn, T.S. (1971), *La estructura de las revoluciones científicas*, 1ª edición 1962, México: Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T.S. (1975), "¿Lógica del descubrimiento o psicología de la investigación?", 1ª edición 1970, en: Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.) (1975), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, 1975, pp. 81-111.

- Kuhn, T.S. (1977), "El cambio de teoría como cambio de estructura: comentarios sobre el formalismo de Sneed", 1ª edición 1976, *Teorema* 7, pp. 141-165.
- Kuhn, T.S. (1982), *La tensión esencial. Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, 1ª edición 1977, México: Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T.S. (1992), "Introduction to Presidential Adress", en D. Hull, M. Forbes y K. Okruhlick (eds.) (1992), *PSA 1992*, Vol. 2, East Lansing: Philosophy of Science Association, pp. 3-5.
- Kuhn, T.S. (2002), "Una conversación con Thomas S. Kuhn" (con Arístides Baltas, Kostas Gavroglu y Vassili Kindi), 1ª edición 1997, en: Conant, J. y J. Haugeland (comps.) (2002), *El camino desde la estructura. Ensayos filosóficos 1970-1993, con una entrevista autobiográfica*, Barcelona: Paidós, pp. 301-373.
- Lakatos, I. (1975), "La falsación y la metodología de los programas de investigación científica", 1ª edición 1970, en: Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.) (1975), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, pp. 203-343.
- Lakatos, I. (1975), "La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales", 1ª edición 1971, en: Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.) (1975), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, pp. 455-509; e *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*, Madrid: Tecnos, 1974.
- Laudan, L. (1985), "Un enfoque de solución de problemas al progreso científico", 1ª edición 1981, en: Hacking, I., *Revoluciones científicas*, México: Fondo de Cultura Económica, pp. 273-293.
- Laudan, L. (1986), *El progreso y sus problemas*, 1ª edición 1977, Madrid: Ediciones Encuentro.
- Lévi-Strauss, C. (1969), *Antropología estructural*, 1ª edición 1958, México: Fondo de Cultura Económica.
- Lorenzano, P. (1986), *El problema de la teoriedad en la filosofía de la ciencia*, Tesis de Licenciatura, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lovejoy, A.O. (1983), *La gran cadena del ser*, 1ª edición 1936, Barcelona: Icaria.
- Masterman, M. (1975), "La naturaleza de los paradigmas", 1ª edición 1970, en: Lakatos, I. y A. Musgrave (eds.) (1975), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona: Grijalbo, pp. 159-201.
- McKinsey, J.C.C., Sugar, A.C. y P. Suppes (1978), "Fundamentos axiomáticos para la mecánica de partículas clásica", 1ª edición 1953, *Lecturas filosóficas 1*, Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Meyerson, É. (1929), *Identidad y realidad*, 1ª edición 1907, Madrid: Reus.
- Mosterín, J. (1984), *Conceptos y teorías en la ciencia*, Madrid: Alianza.
- Moulines, C.U. (1975), *Zur logischen Rekonstruktion der Thermodynamik*, tesis doctoral, Ludwig-Maximilian-Universität München.
- Moulines, C.U. (1982), *Exploraciones metacientíficas*, Madrid: Alianza.
- Moulines, C.U. (1991), *Pluralidad y recursión*, Madrid: Alianza.
- Moulines, C.U. y J. Sneed (1980), "La filosofía de la física de Suppes", 1ª edición 1979, *Lecturas filosóficas 6*, Morelia: Universidad Michoacana.
- Nagel, E. (1968), *La estructura de la ciencia*, 1ª edición 1961, Buenos Aires: Paidós.

- Neurath, O. (1965), "Sociología en fiscalismo", 1ª edición 1931-32, en: Ayer, A.J. (ed.) (1965), *El positivismo lógico*, México: Fondo de Cultura Económica, 1965, pp. 287-322.
- Neurath, O. (1965), "Proposiciones protocolares", 1ª edición 1932-33, en: Ayer, A.J. (ed.) (1965), *El positivismo lógico*, México: Fondo de Cultura Económica, pp. 205-214.
- Pérez Ransanz, A.R. (1999), *Kuhn y el cambio científico*, México: Fondo de Cultura Económica.
- Piaget, J. (1974), *El estructuralismo*, Buenos Aires: Proteo.
- Piaget, J. (1975), *Seis estudios de psicología genética*, Barcelona: Ariel.
- Piaget, J. (1981), *Psicología de la inteligencia*, Buenos Aires: Psiqué.
- Popper, K. (1962), *La lógica de la investigación científica*, 1ª edición 1935, Madrid: Tecnos.
- Putnam, H. (1986), "Lo que las teorías no son", 1ª edición 1962, en: Rolleri, J.L. (ed.) (1986), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986, pp. 123-139.
- Quine, W.V.O. (1963), *Desde un punto de vista lógico*, 1ª edición 1953, Barcelona: Ariel.
- Quine, W.V.O. (1968), *Palabra y objeto*, 1ª edición 1960, Barcelona: Labor.
- Ramsey, F.P. (1986), "Teorías", 1ª edición 1931, en: Rolleri, J.L. (ed.) (1986), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 47-67.
- Reichenbach, H. (1953), *La filosofía científica*, 1ª edición 1951, México: Fondo de Cultura Económica.
- Saussure, F. de (1980), *Curso de lingüística general*, 1ª edición 1916, Madrid: Akal.
- Schilpp, P.A. (ed.) (1963), *The Philosophy of Rudolf Carnap*, La Salle, Ill.: Open Court.
- Sneed, J. (1986), "Problemas filosóficos en la ciencia empírica de la ciencia: un enfoque formal", 1ª edición 1976, en: Rolleri, J.L. (ed.) (1986), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 179-214.
- Sneed, J.D. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht: Reidel, 2ª edición revisada 1979.
- Stegmüller, W. (1969), *Wissenschaftliche Erklärung und Begründung*, Berlin: Springer.
- Stegmüller, W. (1979), *Teoría y experiencia*, 1ª edición 1970, Barcelona: Ariel.
- Stegmüller, W. (1983), *Estructura y dinámica de teorías*, 1ª edición 1973, Barcelona: Ariel.
- Stegmüller, W. (1974), "Dinámica de teorías y comprensión lógica", 1ª edición 1974, *Teorema* 4, pp. 513-551.
- Stegmüller, W. (1975), "Estructura y dinámica de las teorías. Algunas reflexiones sobre J. D. Sneed y T. S. Kuhn", 1ª edición 1975, *Diánoia* 21, pp. 60-84.
- Stegmüller, W. (1986), "Cambio teórico accidental ('no substancial') y desplazamiento de teorías", 1ª edición 1976, en: Rolleri, J.L. (ed.) (1986), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 215-250.
- Stegmüller, W. (1984), "Planteamiento combinado de la dinámica teorías", 1ª edición 1978, en: Radnitzky, G. y G. Andersson (eds.) (1984), *Estructura y desarrollo de la ciencia*, Madrid: Alianza, pp. 233-264.

- Stegmüller, W. (1981), *La concepción estructuralista de las teorías*, 1ª edición 1979, Madrid: Alianza.
- Stegmüller, W. (1982), “La concepción estructuralista. Panorama, desarrollos recientes y respuestas a algunas críticas”, 1ª edición 1979, *Teorema* 12, pp. 159-179.
- Stegmüller, W. (1986), *Die Entwicklung des neuen Strukturalismus seit 1973*, Berlin-Heidelberg: Springer.
- Suppe, F. (1979), “En busca de una comprensión filosófica de las teorías científicas”, 1ª edición 1974, en: Suppe, F. (ed.) (1979), *La estructura de las teorías científicas*, Madrid: Editora Nacional, pp. 15-277.
- Suppes, P. (1966), *Introducción a la lógica simbólica*, 1ª edición 1957, México: CECSA.
- Suppes, P. (1970), *Set-theoretical Structures in Science*, Stanford: Stanford University.
- Suppes, P. (1986), “¿Qué es una teoría científica?”, 1ª edición 1967, en: Roller, J.L. (ed.) (1986), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 167-178.
- Suppes, P. (1988), *Estudios de filosofía y metodología de la ciencia*, Madrid: Alianza.
- Suppes, P. (2000), *Representation and Invariance of Scientific Structures*, Stanford: CSLI Publications.
- Torretti, R. (1993), “El método axiomático”, en: Moulines, C.U. (ed.) (1993), *La ciencia: estructura y desarrollo*, Madrid: Trotta, pp. 89-110.
- Toulmin, S. (1964), *La filosofía de la ciencia*, 1ª edición 1953, Buenos Aires: Los libros del mirasol.
- Toulmin, S. (1977), *La comprensión humana*, 1ª edición 1972, Madrid: Alianza.
- van Fraassen, B. (1996), *La imagen científica*, 1ª edición 1980, México: Universidad Nacional Autónoma de México/Paidós.
- van Fraassen, B. (1989), *Laws and Symmetry*, Oxford: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Whorf, B.L. (1973), *Lenguaje, pensamiento y realidad*, 1ª edición 1956, Barcelona: Seix Barral.
- Wittgenstein, L. (1988), *Investigaciones filosóficas*, 1ª edición 1953, Barcelona-México: Crítica-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zilsel, E. (1960), “El problema de las leyes histórico-sociales”, 1ª edición 1941, *Cuadernos de Epistemología*, 24, Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Zilsel, E. (1958), “Raíces sociológicas de la ciencia”, 1ª edición 1942, Buenos Aires: Cuadernos del Boletín del Instituto de Sociología N° 11, pp. 147-170.

Formada en el procedimiento para ser... en... permitiendo... de la... de la...

Esta edición de 500 ejemplares
se terminó de imprimir en el mes de marzo de 2004
en el Centro de impresiones de la Universidad Nacional de Quilmes,
Roque Sáenz Peña 352, Bernal, Argentina.