Desde la revolución científica del siglo XVII, la influencia de la ciencia sobre la sociedad ha ido aumentando. Nuestras concepciones sobre el mundo, la naturaleza, la vida, los seres humanos y sobre las diversas sociedades y culturas están profundamente mediatizadas por el avance de la ciencia.

Sin embargo, no es fácil definir lo que es la ciencia, ni caracterizar el método científico, ni explicar los cambios en la concepción del mundo a los que da lugar. A lo largo del siglo XX, numerosos filósofos, historiadores y sociólogos han reflexionado sobre estas cuestiones, generando una nueva disciplina, a la que algunos han llamado Metaciencia, otros Teoría de la Ciencia y otros Estudios sobre la Ciencia.

Este volumen, escrito por especialistas iberoamericanos en estas materias, está dedicado a analizar las componentes básicas de la ciencia: los conceptos, las leyes, las teorías, los métodos científicos (axiomatización, experimentación, medición, inducción, deducción, hipótesis, probabilidad, etc.). Asimismo se ocupa de los procesos de cambio científico (que incluyen las llamadas revoluciones científicas) y de las relaciones que unas teorías guardan con otras. En su conjunto, ofrece un panorama de las investigaciones sobre la ciencia que se están llevando a cabo en varios países de lengua española.

Colaboradores

C. Ulises Moulines
Jesús Mosterín
César Lorenzano
Javier Echeverría
Roberto Torretti
Sergio F. Martínez Muñoz
Andrés Rivadulla
Mario Casanueva
Ana Rosa Pérez Ransanz
Adolfo García de la Sienra

La ciencia: estructura y desarrollo

4 ENCICLOPEDIA IBEROAMERICANA DE FILOSOFÍA

Altamirano, 34. 28008 Madrid
Teléfono: 549 14 43
Fax: 549 16 15

Diseño
Joaquín Gallego

ISBN: 84-87699-48-0 (Obra completa)
ISBN: 84-87699-72-3 (vol. 4)
Depósito Legal: M-23585-1993

Impresión
Cosmoprint S. L.
Los Naranjos, 8
San Sebastián de los Reyes
Madrid

La Enciclopedia IberoAmericana de Filosofía es un proyecto de investigación y edición, puesto en marcha por el Instituto de Filosofía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Madrid), el Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Nacional Autónoma de México y del Centro de Investigaciones Filosóficas (Buenos Aires), y realizado por filósofos que tienen al español por instrumento lingüístico.

Existe una pujante y emprendedora comunidad filosófica hispanoparlante que carece, sin embargo, de una obra común que orqueste su plural riqueza y contribuya a su desarrollo. No se pretende aquí una enciclopedia de filosofía española sino articular la contribución de la comunidad hispanoparlante a la filosofía, sea mediante el desarrollo cualificado de temas filosóficos universales, sea desentrañando la modalidad de la recepción de esos temas filosóficos en nuestro ámbito lingüístico.

La voluntad del equipo responsable de integrar a todas las comunidades filosóficas de nuestra área lingüística, buscando no sólo la interdisciplinariedad sino también la internacionalidad en el tratamiento de los temas, nos ha llevado a un modelo específico de obra colectiva. No se trata de un diccionario de conceptos filosóficos ni de una enciclopedia ordenada alfabéticamente sino de una enciclopedia de temas monográficos selectos. La monografía temática permite un estudio diversificado, como diverso es el mundo de los filósofos que escriben en español.

La Enciclopedia IberoAmericana de Filosofía es el resultado editorial de un Proyecto de Investigación financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología y por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Educación y Ciencia.

CONTENIDO

INTRODUCCION

C. Ulises Moulines

Puede concebirse la filosofía en general como una actividad reflexiva de segundo nivel respecto de actividades reflexivas de primer nivel, es decir, de ciertos modos conceptualmente articulados con que los seres humanos se enfrentan a la realidad. La filosofía tiene entonces como objeto de estudio esas reflexiones previas; trata de analizarlas, interpretarlas, fundamentarlas, criticarlas, e incluso a veces mejorarlas. Así, el modo religioso de enfrentarse a la realidad da lugar a la filosofía de la religión; el modo moral, a la filosofía de la moral (o ética); el modo artístico, a la filosofía del arte (o estética), etc.

Uno de los modos más efectivos, sorprendentes y «revolucionarios» de enfrentarse a la realidad ha sido (al menos en los últimos cuatro siglos) el *modo científico*. Por ello no es de extrañar que la filosofía de la ciencia ocupe un lugar preeminente en la filosofía actual. Dada la innegable influencia que ejerce la ciencia en nuestra cultura, es difícil negar la perentoriedad de una reflexión filosófica sobre ella. A tal reflexión la denominamos «filosofía de la ciencia». A sus temas centrales y desarrollos recientes está dedicado este volumen.

Es conveniente en este punto hacer una aclaración terminológica, de trasfondo metodológico. Entenderemos aquí por «ciencia» el conjunto de las disciplinas teóricas conocidas usualmente como «ciencias empíricas o factuales», es decir, aquellas disciplinas que tienen por objeto hechos directa o indirectamente contrastables por la experiencia sensorial humana. Este rótulo incluye en consecuencia tanto las llamadas «ciencias naturales» como las llamadas «ciencias sociales». De hecho, el punto de vista metodológico general desde el cual se ha configurado este volumen es el de que no existe un «abismo ontológico» infranqueable entre los objetos de estudio de esos dos grupos de disciplinas ni entre la naturaleza de sus conceptos, teorías y métodos respectivos. Por supuesto que pueden detectarse diferencias metodológicas importantes entre la física y la economía, pongamos por caso; pero es difícil argüir que ellas han de ser necesariamente más profundas o radicales que las que se dan entre la física y la etología, por un lado, o la economía y la teoría literaria, por otro. Es más, hoy día proliferan las áreas disciplinarias con respecto a las cuales ni siquiera sus propios especialistas concuerdan en adjudicarlas al campo de las ciencias naturales o al de las sociales; la psicología, la lingüística y la geografía (por mencionar sólo algunos ejemplos) se encuentran claramente en esta situación. Así, pues, cuando hablamos aquí de filosofía de la ciencia, nos referimos a la reflexión filosófica sobre las ciencias naturales, sociales e «intermedias»; las áreas temáticas que aparecen tratadas en este volumen son relevantes para todas ellas.

A cambio, quedan excluidas del presente uso del rótulo «ciencia» una serie de disciplinas a las que a veces también se les aplica dicho atributo. En primer lugar, están las «ciencias matemáticas», incluyendo en ellas la lógica. La filosofía de la lógica y las matemáticas —una compleja y rica rama de la filosofía actual— queda excluida de nuestro volumen. Tampoco tomaremos en cuenta aquí la reflexión filosófica sobre las llamadas «ciencias normativas» (filosofía del derecho, por ejemplo). Asimismo quedan excluidas del análisis disciplinas que apelan a algún tipo de experiencia «trascendente» o «realidad sobrenatural» (la teología) o que se autoconsideran ciencias filosóficas «puras» (la metafísica en el sentido tradicional). Finalmente, también hacemos una distinción neta entre ciencia (pura) y tecnología (o ciencia aplicada), por lo que la filosofía de la tecnología tampoco será nuestro tema. Las reflexiones filosóficas sobre todas estas otras disciplinas (lógica, matemáticas, derecho, teología, metafísica, tecnología), a las que con frecuencia se las califica de «ciencias», tienen su lugar en otros volúmenes de esta *Enciclopedia.*

La ciencia en la presente acepción es un fenómeno cultural relativamente reciente en la historia de la humanidad, al menos en comparación con otros modos de reflexión como el religioso o el moral. Incluso tomando un punto de vista laxo, es difícil identificar claros ejemplos de ciencias empíricas antes del periodo helenístico, y aun allí *cum grano salis.* Pero mucho más reciente, naturalmente, es la toma de conciencia de que, con el surgimiento de las ciencias empíricas, se había producido un hecho cultural esencialmente nuevo. Sólo entonces pudo concebirse una filosofía de la ciencia en sentido estricto. Esta toma de conciencia filosófica no se produjo sino hasta fines del siglo XVIII. Quizá pueda considerarse a Kant como el primer filósofo en quien podemos detectar algo parecido a la filosofía de la ciencia en el sentido actual. Sin embargo, la filosofía de la ciencia de Kant (esencialmente: filosofía de la mecánica) se halla aún inextricablemente ligada a cuestiones más tradicionales de teoría del conocimiento y metafísica. Es en el siglo XIX cuando aparecen autores más concentrada y específicamente dedicados a nuestra disciplina: Comte, Wheeler, Mill, Mach, Poincaré, Duhem fueron probablemente los más influyentes.

Ahora bien, tan sólo en el siglo XX alcanza la filosofía de la ciencia su

madurez metodológica y llega a institucionalizarse como disciplina relativamente autónoma. Para ello fue crucial que la reflexión filosófica sobre la ciencia pudiera disponer de las herramientas conceptuales que había forjado la generación inmediatamente anterior: la lógica formal, la teoría de conjuntos y, más en general, los métodos semánticos de la filosofía analítica. Para ello fueron decisivos los trabajos de Frege y Russell, principalmente. De esta confluencia de vectores (los intereses epistemológicos de los autores decimonónicos mencionados por un lado, y los nuevos métodos analítico-formales, por otro) surgió el primer enfoque específico y autoconsciente de la filosofía de la ciencia en su etapa de eclosión (en la década de 1920-1930): el *positivismo lógico* (o *empirismo lógico,* en un sentido más lato) del Círculo de Viena y grupos emparentados, como la Escuela de Berlín, la Escuela de Varsovia y diversas figuras aisladas en los países anglosajones y escandinavos. Probablemente, hoy en día ningún filósofo de la ciencia acepte los postulados específicos del positivismo lógico; sin embargo, es innegable que el desarrollo posterior de la filosofía de la ciencia, e incluso gran parte de la temática abordada y de los métodos utilizados actualmente, presuponen los planteamientos originados en dicho movimiento.

Es un tópico afirmar que en la filosofía, a diferencia de las ciencias, no puede hablarse de progreso. Como todo tópico, éste es o trivial o falso. Si por «progreso» se entiende la mera acumulación lineal de juicios que, una vez establecidos, nunca más son sujetos a examen crítico o revisión, entonces manifiestamente es cierto que no hay progreso en filosofía, pero entonces tampoco lo hay en ninguna ciencia ni en ninguna otra área de la cultura. En cambio, si por progreso entendemos el proceso por el cual se alcanzan perspectivas más complejas y diferenciadas, que por su propia diferenciación hacen imposible una «vuelta atrás», así como un amplio consenso sobre lo más valioso de los resultados obtenidos hasta la fecha, entonces está claro que hay progreso en filosofía, y muy en particular en filosofía de la ciencia. Dejando a un lado el caso de la lógica (de la que puede discutirse si forma parte o no de la filosofía), la filosofía de la ciencia es el área de la filosofía que más progresos tangibles e incuestionables ha hecho en lo que va de siglo. No sólo se trata de que se ha alcanzado una perspectiva mucho mejor articulada sobre la ciencia que la visión estimulante y prometedora, pero primitivamente ingenua, que propugnaba el positivismo lógico; se trata también de que pueden reseñarse una serie de resultados concretos sobre los que hay en la disciplina el mismo tipo de consenso que es característico de las disciplinas científicas más añejas (a saber, resultados sobre los cuales «ya no se discute»). Mencionemos sólo algunos de los que aparecen expuestos en varios capítulos de este volumen: una tipología precisa y diferenciada de los diversos conceptos científicos, que supera en mucho el burdo par cualitativo/cuantitativo; la demostración efectiva de que los conceptos teóricos no pueden reducirse a los observacionales; el abandono definitivo del principio de verificabilidad para las leyes científicas; la determinación exacta de la naturaleza del método axiomático, de las diversas formas que éste puede adoptar y su aplicación concreta a innumerables teorías científicas particulares; la introducción de distintos modos de metrizar conceptos científicos (superando, entre otras cosas, la idea primitiva de que sólo las magnitudes extensivas pueden metrizarse); el abandono tanto de la concepción «cumulativista» como de la «falsacionista» en el análisis diacrónico de la ciencia... La lista podría proseguir.

Dada la finalidad básica de esta *Enciclopedia,* ha parecido conveniente concentrarse justamente en aquellos temas de la filosofía de la ciencia que, por un lado, han sido centrales en el desarrollo de la disciplina y, por otro, incluyen resultados relativamente sólidos y aceptados en gran medida. La mención de «escuelas» y de los conflictos entre ellas, se ha reducido al mínimo indispensable. Con ello probablemente defraudemos a aquellos lectores que aman ante todo las grandes controversias y las «turbulencias» en la discusión filosófica. Pero quizá no esté de más recordar que, para mantenerse a flote en un río de aguas revueltas, conviene no perder de vista sus orillas relativamente firmes, a las que poder aferrarse en caso de necesidad.

LOS CONCEPTOS CIENTIFICOS

Jesús Mosterín

Así como no se puede dibujar sin líneas, ni se puede pintar sin colores, tampoco se puede hablar ni pensar sin conceptos. Esto vale tanto para la vida cotidiana como para la actividad científica. De hecho, muchos de los conceptos científicos actuales provienen de conceptos cotidianos, aunque durante el viaje se han transformado, ganando sobre todo en precisión. Así, las nociones químicas de hierro (átomo con 26 protones en su núcleo) o de agua (H_2O) precisan nociones previas del lenguaje ordinario. Es usual dividir los conceptos científicos en clasificatorios, comparativos y métricos.

CONCEPTOS CLASIFICATORIOS

Los conceptos clasificatorios atribuyen propiedades a los individuos del dominio que clasifican, de tal modo que a cada individuo se le atribuye una y sólo una de esas propiedades. Una clasificación de un dominio es un conjunto de conceptos clasificatorios que clasifican ese dominio, es decir, que lo dividen en clases disjuntas y conjuntamente exhaustivas. Esas clases (es decir, las extensiones de los conjuntos clasificatorios en cuestión) constituyen una partición.

Una familia de conjuntos $\{B_1,...B_n\}$ es una *partición* de un conjunto A si y sólo si (i) para cada i, j ($1 \leq i \neq j \leq n$): $B_i \cap B_j = \emptyset$, y (ii) $B_1 \cup ... \cup B_n = A$.

Una relación binaria $\sim$ entre objetos de un dominio A es una *relación de equivalencia* si y sólo si es reflexiva, simétrica y transitiva en ese dominio (es decir, si y sólo si para cada x, y, z $\in$ A: (i) $x \sim x$; (ii) $x \sim y \Rightarrow y \sim x$; (iii) $x \sim y \wedge y \sim z \Rightarrow x \sim z$). Dada una relación de equivalencia en A, llamamos clase de equivalencia de un elemento $x \in A$, [x], a la clase de todos los elementos de A que están relacionados con x en esa relación de equivalencia, $[x] = \{y \in A | y \sim x\}$.

Toda relación de equivalencia $\sim$ sobre un dominio A induce una partición de ese dominio en clases de equivalencia, llamada el espacio cociente de A por la relación $\sim$, y simbolizada como $A/\sim$. Este hecho se usa con frecuencia para clasificar un dominio mediante la previa introducción de una relación de equivalencia. Consideremos la siguiente relación de equivalencia $\sim_p$ sobre el dominio A de los átomos. Para cada dos átomos x, $y \in A$: $x \sim_p y \Leftrightarrow$ x tiene el mismo número de protones en su núcleo que y. La clase de equivalencia (respecto a esta relación) de un átomo determinado es el conjunto de todos los átomos que tienen su mismo número de protones en el núcleo, es decir, es un elemento químico. Así, el elemento químico carbono es la clase de todos los átomos que tienen 6 protones en su núcleo, el elemento químico nitrógeno es la clase de todos los átomos que tienen 7 protones en su núcleo, el elemento químico oxígeno es la clase de todos los átomos que tienen 8 protones en su núcleo, etc. El espacio cociente $A/\sim_p$ es el conjunto de los elementos químicos.

CONCEPTOS COMPARATIVOS

Algunas cuestiones exigen una respuesta binaria, de sí ó no. Por ejemplo, si un átomo determinado es carbono, si un mamífero determinado es macho o hembra, si un número natural es primo o no. Otras cuestiones más bien se resisten a ese tipo de tratamiento. Si nos interesa la altura de las personas, podríamos clasificarlas —con el lenguaje ordinario— en altas y bajas. Pero esa clasificación no nos lleva muy lejos. Ya el mismo lenguaje ordinario nos invita a ir más allá, estableciendo comparaciones de altura mediante el llamado grado comparativo de los adjetivos. Aunque Fulano y Mengano son ambos altos (o ambos bajos), lo que nos interesa es saber si Fulano es más o menos alto que Mengano. El concepto de ser más bajo (o más alto) es un concepto comparativo. Otros conceptos comparativos son el de ser más duro (entre minerales), el de ser más antiguo (entre estratos geológicos), o el de ser más rápido (entre corredores).

Un concepto clasificatorio de altura nos dice que tanto *x* como *y* son altos, por lo que no resulta muy informativo. Un concepto comparativo de altura nos dice que *x* es más alto que *y*, lo que ya nos informa más, pero no nos dice cuánto más alto es *x* que *y* (si *x* es sólo un poquitín más alto que *y*, o si *x* es el doble de alto que *y* ...). Un concepto métrico, finalmente, nos dice cuál es la altura de *x*, cuál es la de *y*, qué diferencia exacta hay entre ambas, etc. Es el concepto más informativo. De todos modos, el pasar por un concepto comparativo es con frecuencia una etapa necesaria para llegar a disponer de un concepto métrico.

Introducir un concepto comparativo en un dominio A requiere especificar una relación de equivalencia $\sim$ y una relación de orden débil $\prec$. Una relación de orden débil es asimétrica, transitiva y $\sim$-conectada. La relación de equivalencia corresponde a la coincidencia o indiferencia respecto a la propiedad de que se trate (altura, dureza...). La relación de orden débil corresponde a la precedencia o inferioridad respecto a esa propiedad. Se supone que las relaciones $\sim$ y $\prec$ son cualitativas y determinables de un modo empírico y operativo (aceptando a veces ciertas idealizaciones). Si el ámbito A está bien definido, y las relaciones $\sim$ y $\prec$ cumplen las condiciones indicadas, decimos que $\langle A, \sim, \prec \rangle$ constituye un sistema comparativo.

En general, $\langle A, \sim, \prec \rangle$ es un *sistema comparativo* si y sólo si para cualesquiera $x,y,z \in A$:

(1) $x \sim x$
(2) $x \sim y \Rightarrow y \sim x$
(3) $x \sim y \wedge y \sim z \Rightarrow x \sim z$
(4) $x \prec y \Rightarrow \neg\, y \prec x$
(5) $x \prec y \wedge y \prec z \Rightarrow x \prec z$
(6) $x \prec y \vee y \prec x \vee x \sim y$

ESCALAS ORDINALES

Un sistema cualitativo empírico es la base sobre la que establecer una escala, que no es sino un homomorfismo de ese sistema empírico en cierto sistema matemático. Ese homomorfismo es una función o aplicación del dominio A del sistema empírico en algún conjunto matemático, por ejemplo, en el conjunto *R* de los números reales.

Una escala asigna números (o vectores) a los elementos de un sistema empírico, de tal manera que esos números y sus interrelaciones matemáticas reflejen las interrelaciones empíricas entre los elementos del sistema empírico. El homomorfismo en que consiste la escala es como una traducción al lenguaje y al sistema matemático correspondiente del sistema empírico cualitativo inicial, que así queda cuantificado de alguna manera.

Una función h es una transformación (de cierto tipo) de otra función f, si h se obtiene a partir de f mediante una fórmula del tipo correspondiente. Dada una escala de cierto tipo, son transformaciones permisibles aquellas transformaciones que siempre convierten escalas de ese tipo en otras escalas de ese mismo tipo. Precisamente un tipo de escala puede caracterizarse como cierto grupo de transformaciones.

Una función es una transformación monótona de otra si ambas crecen juntas. Es decir, la función h es una transformación monótona de la función f si y sólo si para cada x, $y \in A$: $h(x) < h(y) \Leftrightarrow f(x) < f(y)$.

Las escalas más débiles son las ordinales. Una escala ordinal es una función que se limita a asignar números a los objetos del sistema empírico, de tal manera que, si un objeto precede a otro respecto a la propiedad de que se trate, se le asigne al primero un número menor que al segundo y, si coinciden, se les asigne el mismo número. No hay pretensión alguna de expresar cuantitativamente las diferencias o las proporciones. La escala de Mohs para la dureza de los minerales es un ejemplo de escala ordinal.

Una *escala ordinal* sobre el sistema comparativo $<A, \sim, \prec>$ es un homomorfismo de $<A, \sim, \prec>$ en $<\mathbb{R},=,<>$, es decir, una función $f:A \rightarrow \mathbb{R}$, tal que para cada $x, y \in A$:

$x \sim y \Rightarrow f(x) = f(y)$

$x \prec y \Rightarrow f(x) < f(y)$

Teorema de representación: Si $<A, \sim, \prec>$ es un sistema comparativo, entonces hay al menos una escala ordinal sobre $<A, \sim, \prec>$.

Teorema de unicidad: Si $<A, \sim, \prec>$ es un sistema comparativo, f es una escala ordinal sobre $<A, \sim, \prec>$, y h es una transformación monótona de f, entonces h es también una escala ordinal sobre $<A, \sim, \prec>$.

SISTEMAS EXTENSIVOS

La estructura de un sistema comparativo es demasiado débil para determinar una función que nos permita no sólo constatar que un objeto es mayor que otro (respecto a cierta propiedad), sino también medir exactamente en qué proporción el primer objeto es mayor que el segundo, en cuánto lo supera. Para ello necesitamos enriquecer la estructura del sistema comparativo, añadiéndole una nueva operación empírica $\perp$ de combinación o concatenación de objetos. Dados dos objetos x, y del dominio, siempre ha de ser posible combinarlos de tal modo que su combinación, $x \perp y$, sea considerada como un nuevo objeto. Además queremos que esa operación de combinación corresponda de alguna manera a la adición de números. La operación de verter el contenido de dos botellas iguales en un tercer recipiente es «aditiva» respecto a volumen o masa, pero no lo es respecto a temperatura. El volumen y la masa del líquido contenido en el recipiente final es el doble que el volumen o la masa del líquido en una de las botellas, pero la temperatura resultante no es el doble de la temperatura previa, sino la misma temperatura. Sólo las operaciones del primer tipo conducen a sistemas extensivos que, a su vez, nos permiten luego definir sobre ellos magnitudes aditivas.

Un sistema extensivo es la expansión de un sistema comparativo mediante la introducción de una operación binaria $\perp$ de combinación o concatenación de dos objetos cualesquiera de A para formar otro objeto de A. Esta operación $\perp$ debe ser asociativa, conmutativa, monótona respecto a $\prec$, positiva y arquimediana. Esta última condición exige que, por mucho que y sea inferior a x, siempre habrá un número natural n tal que la concatenación de y consigo mismo n veces sea superior a x. La manera más sencilla de entender esta condición es exigir que haya en A copias exactas de los objetos de A, de tal manera que la concatenación de x consigo mismo sea la concatenación de x con una copia exacta de x. La

concatenación de x consigo mismo n veces puede ser definida recursivamente así: (i) $1x = x$; (ii) $(n+1)x = nx \perp x$.

En general, $<A, \sim, \prec, \perp>$ es un *sistema extensivo* si y sólo si para cualesquiera $x, y, z \in A$:

(1) $<A, \sim, \prec>$ es un sistema comparativo

(1) $x \perp (y \perp z) = (x \perp y) \perp z$

(2) $x \perp y = y \perp x$

(3) $x \prec y \Leftrightarrow x \perp z \prec y \perp z \Leftrightarrow z \perp x \prec z \perp y$

(4) $x \prec x \perp y$

(5) $\exists n \in \mathbb{N}\ x \prec ny$

ESCALAS PROPORCIONALES

Las escalas proporcionales son las más informativas. Asignan números a los objetos de un sistema extensivo de tal modo que la función resultante no sólo conserva el orden del sistema empírico, sino también traduce adecuadamente la operación empírica de combinación de objetos como una adición de números. Toda escala proporcional es una escala ordinal, pero no a la inversa.

Una transformación similar de una función es otra función que resulta de multiplicar cada valor de la primera por un número positivo. Es decir, h es una transformación similar de f si y sólo si hay un $k \in \mathbb{R}^+$, tal que para cada $x \in A$: $h(x) = k \cdot f(x)$. Toda transformación similar es monótona, pero no a la inversa.

Una *escala proporcional* sobre un sistema extensivo $<A, \sim, \prec, \perp>$ es un homomorfismo de $<A, \sim, \prec, \perp>$ en $<\mathbb{R},=,<,+>$, es decir, una función $f:A \rightarrow \mathbb{R}$, tal que para cada $x,y \in A$:

$x \sim y \Rightarrow f(x) = f(y)$

$x \prec y \Rightarrow f(x) < f(y)$

$f(x \perp y) = f(x)+f(y)$

Teorema de representación: Si $<A, \sim, \prec, \perp>$ es un sistema extensivo, entonces hay al menos una escala proporcional sobre $<A, \sim, \prec, \perp>$.

Teorema de unicidad: Si $<A, \sim, \prec, \perp>$ es un sistema extensivo, f es una escala proporcional sobre $<A, \sim, \prec, \perp>$, y h es una transformación similar de f, entonces h es también una escala proporcional sobre $<A, \sim, \prec, \perp>$.

Un sistema extensivo no determina unívocamente una escala proporcional más que hasta transformaciones similares. Si queremos construir una escala concreta, procedemos del siguiente modo. Elegimos un objeto cualquiera (o clase de equivalencia de objetos) del dominio, y le asignamos convencionalmente un número cualquiera (normalmente, el 1). Ese objeto (o clase de objetos equivalentes) es la unidad estándar o patrón de la escala. Una vez efectuada esa elección por nuestra parte, las propiedades del sistema extensivo determinan unívocamente los valores de la función para el resto de los objetos, de tal modo que se preserva el orden y la operación resulta aditiva. Las diversas escalas se basan en la elección de objetos no equivalentes como patrón o en la asignación de números distintos al mismo patrón. En cualquier caso, cada una de esas escalas es una transformación similar de cualquiera otra de ellas.

MEDIDA Y METRIZACION

Un concepto métrico o magnitud es un conjunto de escalas del mismo tipo entre el mismo sistema empírico y el mismo sistema matemático. Aunque hay otros tipos de sistemas empíricos sobre los que se pueden definir otros tipos de escala, aquí nos limitamos a considerar las escalas proporcionales sobre sistemas extensivos. Y aunque también hay conceptos métricos no escalares (por ejemplo, los vectoriales), aquí nos limitamos a considerar los escalares (que asignan números reales a los objetos del sistema empírico).

Hay que distinguir claramente los problemas de medición de los de metrización. Cuando ya disponemos de un concepto métrico para un ámbito determinado, y de lo que se trata es de averiguar cuál es el valor (el número) que (una escala de) ese concepto asigna a un objeto determinado del dominio, nos encontramos ante una tarea de medida. Cuando, por el contrario, carecemos de un concepto métrico para un ámbito que de momento sólo nos es dado cualitativamente, y de lo que se trata es de introducir por primera vez un concepto métrico que lo cuantifique, nos encontramos ante un problema de metrización.

Metrizar es introducir un concepto métrico donde no lo había. Es una tarea importante, pero que sólo en raras ocasiones es preciso llevar a cabo. Medir es hallar el valor que la función métrica asigna a un objeto. En todos los laboratorios del mundo se realizan constantemente medidas (a veces millones de medidas cada día). Es el trabajo cotidiano de la ciencia experimental.

Dentro de la metrización, se distingue la fundamental de la derivada. En general, cuando introducimos un concepto métrico, lo hacemos sencillamente definiéndolo en función de otros conceptos métricos previamente definidos. Así, por ejemplo, definimos la densidad d como la masa m partida por el volumen V: $d(x) = m(x)/V(x)$. Con ello la densidad queda definida, pero sólo a condición de que previamente ya sepamos qué es la masa y el volumen. Se trata de una metrización derivada.

Naturalmente, no podemos introducir todos los conceptos métricos de un modo derivado. Algunos deberán ser definidos o introducidos de un modo directo, primitivo o fundamental (al menos al principio, y aunque luego experimenten extensiones de su ámbito de aplicación en función de complejas interrelaciones teóricas).

Aquí vamos a considerar someramente la metrización fundamental de los tres conceptos básicos de la mecánica: los de masa, longitud y tiempo.

EL SISTEMA EXTENSIVO DE MASA

Cuando sostenemos dos objetos (por ejemplo, dos libros), uno en cada mano, con frecuencia tenemos la impresión subjetiva de que uno de ellos es más pesado que el otro. Puesto que en la superficie terrestre la aceleración gravitatoria es constante, el peso de los objetos es proporcional a su masa. Un libro nos parece más pesado que el otro porque *es* más pesado que el otro. Y es más pesado porque tiene más masa. Otras veces nos parece que ambos libros coinciden en cuanto a masa.

Algunos japoneses afirman que el resultado de un combate de sumo está casi siempre determinado por la masa de los contendientes. El más masivo es el que gana. Para comprobar esta hipótesis tenemos que disponer de un procedimiento que nos permita comparar sus masas respectivas.

Desde tiempo inmemorial la comparación entre objetos mesoscópicos en cuanto a su masa se ha efectuado con ayuda de la balanza de brazos iguales. Supongamos que queremos introducir un concepto comparativo de masa para un dominio de objetos mesoscópicos manejables, como piedras o cilindros metálicos, y que disponemos de una balanza, en cuyos platillos podemos colocar dichos objetos sin dificultad.

En primer lugar, introducimos una relación $\sim_M$ de coincidencia en cuanto a masa. Por convención, toda objeto coincide en cuanto a masa consigo mismo. Dos objetos distintos coinciden en cuanto a masa si y sólo si, colocados en sendos platillos de la balanza, la equilibran. Esta relación es reflexiva, simétrica y transitiva, y, por tanto, es una relación de equivalencia.

En segundo lugar, introducimos una relación $\prec_M$ de precedencia en cuanto a masa. Por convención, un objeto nunca es menos masivo que él mismo, nunca se precede en cuanto a masa. Dados dos objetos distintos, el primero es menos masivo que el segundo si y sólo si, colocados en sendos platillos de la balanza, ésta se desequilibra a favor del segundo objeto (es decir, el platillo que contiene el segundo objeto se hunde, mientras el otro sube). Esta relación es asimétrica y transitiva, y, por tanto, es una relación de orden parcial estricto.

La relación $\prec_M$ de precedencia en cuanto a masa es $\sim_M$- conectada, es decir, para cada dos objetos x,y ocurre: $x \prec_M y$ o $y \prec_M x$ o $x \sim_M y$. Por tanto, $\prec_M$ es un orden débil. Dados dos objetos, siempre uno de ellos desequilibra la balanza a su favor, o ambos la equilibran. Así es el mundo. (Podría ser de otra manera, la balanza podría ponerse a oscilar indefinidamente, por ejemplo, pero de hecho eso no ocurre).

En tercer lugar, introducimos la operación $\perp_M$ de concatenación o combinación empírica de objetos. Dados dos objetos x,y, la combinación $x \perp_M y$ consiste en colocar ambos objetos en el mismo platillo de la balanza (con lo que ambos, juntos, pasan a ser consideradas como un nuevo objeto, que es su concatenación). Esta operación $\perp_M$ es asociativa, conmutativa y monótona respecto a $\prec_M$. También vamos a considerar que es arquimediana, aunque esto representa una gran idealización.

El sistema cualitativo formado por el conjunto A de los objetos mesoscópicos manejables, la relación de coincidencia $\sim_M$, la relación de precedencia $\prec_M$, y la operación de concatenación $\perp_M$, $\langle A, \sim_M, \prec_M \rangle$, es un sistema extensivo.

EL CONCEPTO METRICO DE MASA

Dado el sistema extensivo que acabamos de describir, basta con elegir uno de los objetos (o una clase de equivalencia de ellos) como unidad, estándar o patrón y asignarle un número para determinar unívocamente una escala de masa.

Hasta la Revolución francesa, había una enorme variedad de escalas (mal definidas, pero todas distintas entre sí) tanto para la masa (o, más bien, el peso) como para otras magnitudes, lo cual creaba todo tipo de confusiones, abusos y problemas. Los Estados Generales habían solicitado varias veces acabar con la anarquía de las unidades de medida. En 1791, y a sugerencia de Talleyrand, la Asamblea Constituyente encargó a la *Académie des Sciences* que diseñara un nuevo y unificado sistema de pesas y medidas. La *Académie* nombró un ilustre comité, presidido por Borda, del que formaban parte varios de los mejores científicos del momento, como Lagrange, Condorcet, Monge y Laplace, y que mantenía estrecho contacto con Lavoisier. La Asamblea Constituyente aprobó ese mismo año 1791 (antes de que se instaurara el Terror) las propuestas de la *Académie*. Talleyrand emigró a Inglaterra durante el Terror. Tras su vuelta a París, en 1798 convocó una conferencia internacional de científicos para perfeccionar el sistema métrico decimal, que en 1799 fue declarado sólo sistema legal en Francia. Su actual sucesor se llama desde 1960 el sistema internacional (SI).

En 1799 los padres del sistema métrico decimal eligieron como patrón de masa la de un decímetro cúbico de agua a 4°C (temperatura de máxima densidad del agua), y , más específicamente, la de un cilindro metálico de esa masa fundido al efecto por encargo de la *Académie*. En 1889, este viejo cilindro fue remplazado por otro nuevo. En efecto, la Conferencia General de Pesas y Medidas celebrada ese año proclamó como patrón de masa un cilindro (de 3,98 cm de altura y diámetro) hecho de una aleación de 90% de platino y 10% de iridio. Este cilindro, conservado bajo una triple campana de vidrio, y junto a 6 copias, en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres, sigue siendo el estándar o patrón de masa en el SI. La masa es la única magnitud básica del SI, cuya unidad (el kilogramo) no se basa en un proceso de la naturaleza, sino en un objeto artificial convencional: el kilogramo patrón.

De todos modos, el concepto métrico de masa, tal y como lo hemos introducido aquí, sólo se aplica a objetos mesoscópicos manejables, no a átomos o estrellas, por ejemplo, que no pueden colocarse en los platillos de una balanza. A partir de este concepto de masa, y mediante una serie

de ampliaciones sucesivas (en realidad, una serie de conceptos distintos de dominio o alcance creciente), se extiende su ámbito de aplicación. Estas ampliaciones son extensiones conservativas del concepto anterior, en el sentido de que conservan los mismos valores para los objetos del ámbito previamente metrizado.

La extensión del concepto de masa en la mecánica clásica tiene lugar mediante el establecimiento de relaciones basadas en sus leyes fundamentales. Esto presentaba inicialmente un problema, pues las dos leyes relevantes (la segunda ley de Newton y la ley de la gravitación) parecían dar lugar a dos nociones distintas de masa, las llamadas masa inercial y masa gravitatoria. La masa inercial se determina (en base a la segunda ley de Newton, $F = m[x] \cdot a[x]$) a partir de la aceleración producida por una fuerza conocida:

$$\text{masa inerte de } x = F/a(x).$$

La masa gravitatoria, por el contrario, se determina (en base a la ley de la gravitación universal, $F_{xy} = G \cdot m(x) \cdot m(y)/r^2$, donde r es la distancia entre x e y) a partir de la medición de la fuerza gravitatoria ejercida por la tierra T sobre un cuerpo x:

$$\text{masa gravitatoria de } x = F_{Tx} \cdot r^2/G \cdot m(T).$$

Afortunadamente ambas masas —la inercial y la gravitatoria— son iguales, como R. Eötvös comprobó experimentalmente a principios de nuestro siglo. (No era necesario que lo fueran, pero de hecho lo son.)

Otra cuestión distinta, planteada y respondida afirmativamente por E. Mach dentro de su programa de reducción de la dinámica a la cinemática, es la de si sería posible definir la masa en términos puramente cinemáticos, como la longitud y el tiempo, con lo que su metrización sería derivada, no fundamental. En función de la posición (reducible a la longitud) y el tiempo se define la aceleración (como segunda derivada de la posición por el tiempo). Y en función de la aceleración trató Mach de definir la masa. Dos objetos tienen la misma masa si y sólo si, al interactuar (por ejemplo, mediante una colisión frontal), obtienen ambos la misma aceleración. Un objeto tiene una masa *n* veces superior a otro si, al interactuar, el segundo adquiere una aceleración *n* veces mayor que el primero. Esta interesante propuesta de Mach ha tropezado sin embargo con dificultades.

Al pasar a otras teorías no newtonianas, como la relatividad especial, la noción de masa cambia profundamente. La masa de un objeto o de una partícula ya no es invariante respecto a su velocidad, sino que depende esencialmente de ella. Se trata de un concepto muy distinto de masa, que (con buena voluntad) puede considerarse como una ampliación del concepto clásico a objetos que se mueven a velocidades próximas a la de la luz, extensión conservativa (dentro de los márgenes de medida efectiva) respecto a los objetos a baja velocidad.

EL SISTEMA EXTENSIVO DE LONGITUD

En el lenguaje cotidiano decimos que unos humanos son más altos que otros, que una gasolinera está más lejos de aquí que otra, que un barco tiene mayor eslora que otro, que una falda es más corta que otra, etc. Comparamos cosas respecto a su longitud, como más cortas o largas que otras.

Supongamos que queremos introducir un concepto comparativo de longitud para un dominio de barras metálicas rígidas a temperatura constante.

Introducimos una relación $\sim_L$ de coincidencia respecto a longitud del siguiente modo: cada barra, por convención, coincide consigo misma respecto a longitud. Dos barras distintas son equivalentes o coincidentes respecto a longitud si y sólo si, yuxtapuestas colateralmente la una junto a la otra de tal manera que sus extremos iniciales coincidan, sus extremos finales coinciden también. Esta relación es reflexiva, simétrica y transitiva, es decir, una relación de equivalencia.

Introducimos luego una relación $\prec_L$ de precedencia: Por convención, ninguna barra es más corta que sí misma. Dadas dos barras distintas, y yuxtapuestas colateralmente la una junto a la otra de tal manera que sus extremos iniciales coincidan, la primera barra es más corta que la segunda si y sólo si el extremo final de la segunda sobresale o se extiende más allá que el de la primera. Esta relación es asimétrica y transitiva, y por tanto es un orden parcial estricto.

Además ocurre que, dadas dos barras cualesquiera, siempre ocurre que una de ellas es más corta que la otra, o que la otra es más corta que la una, o que ambas coinciden en cuanto a longitud. Por tanto, la relación $\prec_L$ de ser más corta es una relación de orden débil.

Finalmente, introducimos también una operación $\perp_L$ de combinación o concatenación de barras, consistente en colocar colinealmente una barra a continuación de la otra, de tal modo que una empiece donde termine la otra, y que ambas estén en la misma recta. Incluso podríamos pensar en un mecanismo para ajustar firmemente una barra a la otra por su extremo, formando una nueva barra rígida. En cualquier caso, consideramos que la concatenación indicada de dos barras es una nueva barra.

El sistema cualitativo formado por el conjunto A de las barras metálicas rígidas, la relación de coincidencia $\sim_L$, la relación de precedencia $\prec_L$, y la operación de concatenación $\perp_L$, $\langle A, \sim_L, \prec_L \rangle$, es un sistema extensivo.

EL CONCEPTO METRICO DE LONGITUD

Dado el sistema extensivo que acabamos de describir, basta con elegir una de las barras (o una clase de equivalencia de ellas) como unidad, estándar o patrón y asignarle un número para determinar unívocamente

una escala de longitud. Esta escala de longitud puede luego ser extendida hasta abarcar otros objetos rígidos con una arista (yuxtaponible colateralmente a una barra), posiciones en el espacio, distancias, etc., todo lo cual presenta problemas que no vamos a analizar aquí. En cualquier caso, el primer paso consiste en la elección de una unidad estándar.

La unidad de longitud elegida por el Comité de la *Académie des Sciences* en 1791 fue la diezmillonésima parte del cuadrante de un meridiano terrestre. Como los meridianos podían ser diferentes, se eligió uno determinado: el que pasa por Dunkerque. Entre 1792 y 1799 se llevó a cabo la medición por triangulación de un arco de diez grados de latitud sobre ese meridiano (el arco comprendido entre Dunkerque y Barcelona). Hoy sabemos que tuvo un error de 2 partes en 10.000. En realidad el cuadrante de ese meridiano terrestre tiene 10.002.288,3 m, no 10.000.000 m. Esta medida tenía una precisión de casi una parte en 10^4. En 1798 se fabricó el prototipo del metro, una barra de platino, depositada en los Archivos Nacionales y aprobada por la Asamblea Legislativa al año siguiente. Con la introducción de este prototipo se aumentó la precisión en un orden de magnitud, alcanzando una parte en 10^5. La unidad de longitud, el metro (como la de masa, el kilogramo), no se basaría en un concepto, sino en un objeto artificial concreto, el metro patrón. El metro era la longitud de esa barra, con independencia del meridiano.

La Conferencia General de Pesas y Medidas de 1889 estableció como unidad estándar de longitud la distancia (a 0°C de temperatura) entre dos marcas sobre una nueva barra metálica de perfil en forma de «X», hecha de una aleación de 90% de platino y 10% de iridio, y conservada en la Oficina de Pesas y Medidas de Sèvres. Otras barras-copias eran comparadas con ella mediante un microscopio reversible especial. Esta nueva barra estándar y los procedimientos de comparación que la acompañaban hicieron posible incrementar la precisión por otro orden de magnitud, llegándose así a casi una parte en 10^7. Entre 1899 y 1960, esta barra sirvió de patrón fundamental para la medida de longitudes.

En los años cincuenta todo el mundo era consciente de que ninguna barra metálica era completamente estable. Las ondas de luz coherente proporcionarían un estándar mucho más invariable, y diversas lámparas atómicas fueron ensayadas. Finalmente se eligió el kriptón, un gas noble de número atómico 36, que aparece en la naturaleza (en la atmósfera) en forma de diversos isótopos, de los cuales el más frecuente es el kriptón-86. El espectro del kriptón se compone de 36 líneas, la mayoría amarillas o verdes, correspondientes a las transiciones de energía de los 36 electrones del átomo. La línea elegida para la definición del metro estándar es una particular línea (luz) de color anaranjado.

En 1960, la Conferencia General de Pesas y Medidas decidió cambiar el estándar de longitud, redefiniendo el metro como una longitud igual a 1.650.763,73 veces la longitud de onda en el vacío de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$ del isótopo kriptón-86. Con esto la precisión de la medida se multiplicaba por 100 y alcanzaba una parte en 10^9. El comparador de barras mediante microscopio reversible de Sèvres fue sustituido por una compleja instalación que permite la comparación directa con el estándar definido en función de la radiación del kriptón-86. Además el nuevo estándar tenía la ventaja de ser reproducible en cualquier laboratorio adecuadamente equipado del mundo, sin necesidad de ir a Sèvres.

La lámpara de kriptón-86 permitió incrementar la precisión, pero seguía teniendo problemas, relacionados muchos de ellos con la dificultad de conseguir luz suficientemente coherente (que mantuviera su longitud de onda durante suficiente tiempo como para recorrer un metro, por ejemplo). Pronto se vio que el desarrollo de la tecnología del láser permitía conseguir una luz mucho más coherente que la de la lámpara de kriptón, y se pensó en redefinir el estándar de longitud mediante el láser. Pero no llegó a ser así, pues una solución más radical y definitiva acabó imponiéndose. Esta solución se basa en el hecho (comprobado hasta la saciedad y principio fundamental de la teoría especial de la relatividad) de que la velocidad de la luz en el vacío es una constante absoluta. Puesto que la luz en el vacío recorre siempre la misma longitud por unidad de tiempo, y puesto que la medida del tiempo había adquirido una precisión mayor que todas las demás, bastaba con definir el metro como la longitud recorrida por la luz en el vacío en una fracción determinada de segundo.

En octubre de 1983 la Conferencia General de Pesas y Medidas decidió redefinir el metro, incrementando su precisión en una potencia de 10 (un orden de magnitud), y alcanzando una exactitud de una parte en 10^{10}. A partir de entonces, el metro se define oficialmente como la longitud (o distancia) recorrida por la luz en el vacío en la fracción 1/299792458 de segundo.

Con esta definición, el estándar de longitud se define en función del estándar de tiempo (el segundo). Por tanto, y en teoría, podría considerarse que la metrización de la longitud deja de ser primitiva o fundamental, para convertirse en derivada.

EL SISTEMA EXTENSIVO DE TIEMPO

Así como atribuimos masa y longitud a los objetos, atribuimos duración a los procesos. Unos procesos duran más o menos que otros. Los viajes, las enfermedades y nuestra propia vida son más o menos breves. Todos tenemos una experiencia subjetiva del tiempo y la duración. El lenguaje ordinario tiene recursos (adverbios temporales, tiempos verbales, etc.) para expresar la duración. Sin embargo, la noción objetiva de tiempo y duración está necesariamente relacionada con los relojes. Cualquier proceso periódico o cíclico o repetitivo puede ser considerado como un reloj (más o menos bueno, según que su ciclo sea más o menos regular). Entre los ciclos regulares bien conocidos están las oscilaciones de los péndulos.

Supongamos que queremos introducir un concepto comparativo de tiempo para las oscilaciones de un conjunto de péndulos.

Primero definimos una relación $\sim_T$ de coincidencia en cuanto a duración. Dos péndulos coinciden en la duración de su período si, puestos en marcha a la vez, alcanzan también a la vez el punto inferior de su trayectoria en cada una de sus oscilaciones.

Luego definimos una relación $\prec_T$ de precedencia en cuanto a duración en la que están dos procesos o períodos si el primero es más breve que el segundo. Un péndulo tiene un período más breve que otro si, puestos en marcha a la vez, el primero completa su primer período mientras el segundo todavía no lo ha completado. El procedimiento podría precisarse mediante un detector fotoeléctrico que reaccionase a la interrupción de un rayo luminoso que pase por el punto inferior de la trayectoria del péndulo.

Finalmente introducimos una operación $\perp_T$ de combinación o concatenación de oscilaciones de péndulos distintos. Para concatenar dos péndulos x e y, ponemos en marcha una oscilación o periodo de y exactamente en el momento en que x completa su oscilación o periodo. El detector fotoeléctrico puede también ser usado aquí. En cualquier caso, consideramos que esas dos oscilaciones juntas (desde el inicio de la primera hasta el final de la segunda) forman una nueva oscilación o periodo.

El sistema cualitativo formado por el conjunto A de las oscilaciones de los péndulos, la relación de coincidencia $\sim_T$, la relación de precedencia $\prec_T$, y la operación de concatenación $\perp_T$, $\langle A, \sim_T, \prec_T \rangle$, es un sistema extensivo.

EL CONCEPTO METRICO DE TIEMPO

Dado el sistema extensivo que acabamos de describir, basta con elegir uno de los objetos (o una clase de equivalencia de ellos) como unidad, estándar o patrón y asignarle un número para determinar unívocamente una escala de tiempo. Luego esa escala puede ser extendida a otros procesos estrictamente periódicos (es decir, coordinables con las oscilaciones de algún péndulo, aunque sea ideal) y, finalmente, a todo tipo de procesos. El camino es escabroso, pero transitable.

Según Aristóteles, «el tiempo es la medida del movimiento, según lo anterior y lo posterior» (*Physiké A.*, 219 b). Esa medida del movimiento viene dada por el número de ciclos que recorre un reloj mientras dura ese movimiento. El tiempo es lo que miden los relojes (es decir, los sistemas cíclicos estrictamente periódicos). Durante la mayor parte de la historia los únicos relojes fiables eran los astronómicos, los movimientos cíclicos aparentes del sol y de la luna, que correspondían a la rotación de la Tierra en torno a su eje (el día), a la translación orbital de la luna en torno a la Tierra (el mes) y a la translación orbital de la Tierra en torno al sol (el año). Hoy sabemos que esos relojes celestes no son perfectos, pero hay que reconocer que nos han prestado un buen servicio como aproximaciones satisfactorias.

Para medir procesos más breves que un día los relojes celestes no servían (sobre todo si el día estaba nublado). Por ello el ingenio humano ha producido una serie de relojes o sistemas cíclicos artificiales, que sirviesen para medir tiempos pequeños, como las horas, los minutos o los segundos: relojes de sol, de arena, de velas, de agua o mecánicos. En Europa, hacia 1300, los mejores relojes ganaban o perdían 15 minutos por día, es decir, sólo lograban una precisión de una parte en 100. Sin embargo, en China, por la misma época, una larga tradición de perfeccionamiento de los relojes de agua había conducido en algunos casos a relojes con un error de sólo medio minuto por día, es decir, una precisión 30 veces mayor que en Europa. La relojería europea experimentó un gran progreso en el siglo XVI y, tras la incorporación por Huygens de los principios galileanos del péndulo, los nuevos relojes de péndulo redujeron el error a 10 segundos por día, alcanzando así una precisión de una parte en 10^4. De hecho, hasta 1950 los mejores relojes disponibles siguieron siendo los de péndulo.

Los fundadores del sistema métrico no se preocuparon de definir una nueva unidad de tiempo. En vez de ello, propusieron la unidad natural existente, el día, y se limitaron a sugerir múltiplos y submúltiplos decimales del mismo. Pero esa propuesta no prosperó.

Finalmente se adoptó como unidad de tiempo el segundo, definido en función del movimiento rotacional de la Tierra, como la fracción 1/86.400 (= 24 · 60 · 60) del día solar medio. Pero el día solar medio no es constante, va creciendo lentamente. Por ello en 1956 el segundo fue redefinido oficialmente en el SI en función del movimiento orbital de la Tierra alrededor del Sol, es decir, del año solar o tropical. El ecuador celeste y la eclíptica sólo se cruzan en dos puntos: los equinoccios. El centro del sol, en su trayectoria aparente por la eclíptica, cruza el ecuador celeste dos veces al año. El tiempo comprendido entre dos cruces sucesivos por el equinoccio de primavera se llama un año tropical. Lo malo es que este año tropical también varía, se va reduciendo lentamente. Por eso, había que fijar un año determinado, y se eligió el 1900. El segundo sería la fracción 1/31556925974 del año tropical 1900. De todos modos este segundo «efemérico» así definido sólo estuvo oficialmente vigente durante 11 años.

En 1967 se dio una nueva definición del segundo, que aprovechaba los avances de la ciencia y tecnología atómicas. El segundo pasó a ser definido en función de un cierto número de oscilaciones de la radiación generada por un reloj atómico basado en el comportamiento del isótopo cesio-133.

El cesio es un metal alcalino de número atómico 55. Casi todo el cesio presente en la naturaleza tiene la forma de isótopo 133.

Los átomos no pueden encontrarse más que en unos niveles de energía bien determinados. Toda transición entre dos de estos niveles se

acompaña de la emisión o de la absorción de un fotón u onda electromagnética de frecuencia invariable. En la última capa del átomo de cesio hay un solo electrón. Si el *spin* de ese electrón tiene dirección opuesta al *spin* del núcleo, el átomo de cesio está en su nivel de energía más bajo posible. El nivel inmediatamente superior de energía se alcanza si el *spin* del electrón externo cambia de dirección y se alinea con el del núcleo. El átomo de cesio pasa del primer estado al segundo (es decir, realiza una transición entre dos niveles hiperfinos) absorbiendo la energía de una radiación electromagnética muy determinada (de 9.192.631.770 hertz, o ciclos por segundo). Si pasa del segundo estado al primero, pierde la energía previamente ganada emitiendo un fotón de la misma frecuencia.

El átomo de cesio gira en torno a su eje de rotación o *spin*. Colocado en un campo magnético de cierta intensidad, su eje de rotación describe un círculo (como una peonza girando en el suelo) o precesión. Esta precesión puede ser detectada y estimulada por una emisión de radio de una frecuencia de 9.192.631.770 vibraciones o ciclos por segundo, que es la que corresponde a la transición entre dos niveles hiperfinos del isótopo cesio-133. En ello se basa la (desde 1967) definición oficial de la unidad de tiempo: «El segundo es la duración de 9.192.631.770 ciclos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del átomo de cesio-133».

¿Cómo conseguir una radiación electromagnética de la frecuencia deseada (9.192.631.770 hertz)? Mediante un reloj de cesio, que simplificadamente, consiste en lo siguiente: un horno eléctrico calienta cesio-133, con lo que se produce un chorro de átomos de cesio. Un selector magnético filtra y deja pasar sólo los átomos en el nivel más bajo de energía. éstos penetran en una cámara sometida a radiación electromagnética procedente de un oscilador de cuarzo, que pretende acercarse lo más posible a la frecuencia deseada de 9.192.631.770 hertz. La radiación de ese tipo transmite su energía a los átomos con los que interacciona, que pasan al nivel siguiente de energía. Un nuevo selector magnético elimina a los átomos de nivel más bajo de energía. Finalmente, un detector cuenta los átomos que llegan hasta el final (los de energía más alta). Un servomecanismo de retroalimentación modula la producción de ondas electromagnéticas en el oscilador. Si la radiación producida es la correcta, muchos átomos realizan la transición y son detectados al final del proceso. Si la radiación se desvía de la correcta, entonces menos átomos son detectados al final, con lo que el detector envía al oscilador una señal que automáticamente altera su frecuencia, hasta que de nuevo se consiga que un número máximo de átomos alcance el detector. Cuando esto ocurre, ello garantiza que la radiación electromagnética producida tiene exactamente la frecuencia deseada. Esta frecuencia puede entonces ser transformada por divisores electrónicos de frecuencia en señales a intervalos exactos elegidos (por ejemplo, cada microsegundo). Estos relojes de cesio permiten una precisión superior a una parte entre 10^{12}, que es la máxima precisión alcanzada hasta ahora en cualquier tipo de medición.

EL ROL DE LOS CONCEPTOS METRICOS EN LA CIENCIA

La realidad que nos rodea es enormemente compleja y en gran parte resulta opaca a nuestra comprensión y manipulación intelectual. Sin embargo, el mundo ficticio de la matemática, que nosotros hemos creado, es mucho más transparente y mejor conocido. Además, disponemos de técnicas conceptuales potentísimas para resolver los problemas acerca del mundo matemático formulados en el lenguaje de las matemáticas.

Afortunadamente, y desde el siglo XVII, hemos salido del marasmo en que nos había sumido el intento por comprender directamente la realidad, y hemos aprendido a conquistarla por la ruta indirecta de la modelización cuantitativa. Construimos modelos matemáticos de la realidad empírica, y trasladamos a esos modelos los problemas que la realidad nos plantea. Esos problemas, así traducidos al lenguaje matemático, son susceptibles de ser analizados y resueltos matemáticamente. Y la solución matemática, retraducida al lenguaje empírico, se convierte en una solución satisfactoria de nuestros iniciales problemas reales. Al menos, eso es lo que ocurre si nuestro modelo matemático es suficientemente bueno. En cualquier caso, son los conceptos métricos los que juegan el papel clave de intermediarios en este taumatúrgico ir y venir entre realidad opaca y ficción transparente.

Resulta sorprendente que ese rodeo por el mundo ficticio de la matemática nos proporcione representaciones fiables del mundo real de los procesos físicos y soluciones eficaces a nuestros problemas empíricos. Parece milagroso que algo tan extravagante funcione. Como dice Eugene Wigner, «el milagro de la adecuación del lenguaje de la matemática para la formulación de las leyes de la física es un don maravilloso que nosotros no entendemos ni merecemos». Quizás no lo merezcamos, pero si, a pesar de todo, tratamos de entenderlo, tendremos que seguir avanzando en nuestra comprensión de la estructura, dinámica y papel de los conceptos métricos en la empresa científica.

BIBLIOGRAFIA

Hempel, C. (1952), *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*, vol. II, n. 7 de *International Encyclopedia of the Unity of Science*, University of Chicago Press.
Klein, A. (1974), *The World of Measurements*, Simon and Schuster, New York.
Krantz, Luce, Suppes y Tversky (1971), *Foundations of Measurement*, vol. I (*Additive and Polynomial Representations*); vol. II, 1989; vol. III, 1990, Academic Press, New York.
Kyburg, H., Jr. (1984), *Theory and Measurement*, Cambridge University Press.
Mosterín, J. (1987), *Conceptos y teorías en la ciencia* (2ª ed.), Alianza, Madrid.
Narens, L. (1985), *Abstract Measurement Theory*, The MIT Press, Cambridge (Mass).
Orth, B. (1974), *Einführung in die Theorie des Messens*, Kohlhammer, Stuttgart.
Pfanzagl, J. (1971), *Theory of Measurement*, Physica-Verlag, Würzburg.
Roberts, F. (1979), *Measurement Theory (with Applications to Decisionmaking, Utility, and the Social Sciences)*, vol. 7 de *Encyclopedia of Mathematics and its Applications*, Addison-Wesley, Reading (Mass).
Stegmüller, W. (1979), *Teoría y experiencia*, Ariel, Barcelona.

HIPOTETICO-DEDUCTIVISMO

César Lorenzano

I. INTRODUCCION

El hipotético-deductivismo es una de las más —si no la más— influyente filosofía de la ciencia de nuestros tiempos.

No sólo fue aceptado como un fértil punto de vista por una comunidad filosófica que produjo bajo su influencia innúmeros escritos, y lo expuso desde distintas perspectivas en congresos y reuniones, sino que devino asimismo el método estándar, habitual de la ciencia; la manera canónica, aceptada y sancionada de presentar tanto los proyectos de investigación, como los informes una vez concluidos.

Alcanzó esa posición merced a la resolución de una manera a la vez audaz y rigurosa de los problemas más hondamente sentidos por científicos y filósofos interesados en la ciencia. Dichos campos problemáticos eran, sobre todo:

i) el criterio que permitiera separar la ciencia de otras actividades intelectuales a las que estuviera íntimamente ligada, tales como la religión y la filosofía, y de las que debió deslindarse para preservar su desarrollo autónomo.

A éste se lo conoció como el problema de la *demarcación*.

ii) el método que permitiera justificar la corrección de las afirmaciones centrales de la ciencia, las leyes.

Éste fue llamado el problema de la *justificación*[1].

1. Popper establece una distinción entre las formas en que se llega a postular una hipótesis —problema atinente a la historia de la ciencia, la psicología, la sociología, o la biografía del científico—, de los procedimientos destinados a ponerlas a prueba. Las asimila a las oposiciones kantianas entre cuestiones que hacen a los hechos —*jus facti*— y las que hacen a las normas —*jus juri*—. Declara que las primeras no poseen reglas, y por tanto no son susceptibles de tratamiento lógico. En cambio, sí es posible con los métodos empleados en las contrastaciones a las que deben someterse.

La terminología más conocida es la de Hans Reichenbach, quien los llama contexto de descubrimiento y contexto de justificación.

Para resolverlos, el hipotético-deductivismo devino una visión completa, coherente de la ciencia, el conocimiento común, y la historia de la ciencia, superando el marco exclusivamente metodológico.

Suele fecharse su aparición en 1934, cuando Karl Popper publica en Viena *La lógica de la investigación científica*[2].

Es menos conocido que el método hipotético-deductivo fue explicitado por Claude Bernard usando incluso la misma terminología unos setenta años antes que Popper.

El hecho de que lo hiciera un científico en un libro dirigido a científicos, con un título tan poco atractivo para filósofos como *Introducción al estudio de la medicina experimental* (1865) contribuyó sin duda a que fuera casi —por no decir totalmente— desconocido en los medios filosóficos, incluyendo en ellos al mismo Popper[3].

Dejaremos de lado otros antecesores del hipotético-deductivismo, menos acabados en su concepción, menos cercanos a Popper, menos influyentes u olvidados, como Fresnel, Hartley, LeSage o Whewell[4] y centraremos nuestro relato en la obra de Popper, con algunas referencias a Claude Bernard.

II. EL CLIMA SOCIAL E INTELECTUAL EN QUE APARECE LA OBRA DE POPPER

Es casi innecesario recordar que la Viena de principios de siglo en que se gesta el hipotético-deductivismo era un hervidero de nuevas ideas científicas, culturales y sociales.

Es la ciudad de Sigmund Freud, y también de su adversario psicoanalítico, Alfred Adler. De Arnold Schoenberg cuando impulsa la música moderna. De Ernst Mach, quien critica la mecánica de Newton y enseña filosofía e historia de la ciencia. Es la ciudad socialista, que experimenta en todos los campos culturales, sitiada y finalmente tomada por el nazismo.

2. Con pie de imprenta «1935». Fue más conocida la versión inglesa, de 1957.

3. Sin duda fue éste un factor decisivo para que se le atribuyera la paternidad del hipotético-deductivismo a Popper, aunque la obra de Claude Bernard no fuera la de un pensador aislado y luego olvidado. Por el contrario, tuvo la más amplia difusión entre investigadores médicos, fisiólogos, biólogos, bioquímicos, guiándolos metodológicamente prácticamente hasta nuestros días, a más de cien años de su muerte. Incluso desde campos alejados de lo biológico se le cita como un punto de referencia insoslayable. El ejemplo más notable es el del sociólogo contemporáneo Pierre Bourdieu, quien pese a escribir una de las obras más densas de fundamentación de las ciencias sociales, además de vastas investigaciones empíricas, no puede eludir a Claude Bernard cuando fija su propia posición. Dice en *La fotografía. Un arte intermedio*, Nueva Imagen, México, 1979, 16, que las ciencias sociales debieran tomar ejemplo del rigor de Bernard, siguiendo sus prescripciones metodológicas.

4. A. Fresnel, *Mémoire sur la diffraction de la lumière*, París. 1819. D. Hartley, *Observations of man, his frame, his study, and his spectations*, Londres, 1791. G. LeSage, varios escritos, y la recopilación y comentario de su obra en P. Prevost, *Notice de la vie et des écrits de George-Louis LeSage*, Génova, 1804. W. Whewell, *Philosophy of the inductive sciences founded upon their History*, Londres, 1847.

Pueden encontrarse otras precisiones históricas sobre antecedentes del hipotético-deductivismo en Laudan (1981).

En ella, alrededor de 1923, se nuclean en el seminario que dirige Moritz Schlick, continuador de la cátedra de Ernst Mach, figuras como Rudolf Carnap, Herbert Feigl, Otto Neurath, Victor Kraft, Friedrich Waissmann, o Kurt Gödel. Cercanos a las ideas que allí se desarrollan, y en ocasiones inspirándolas, son miembros del seminario aunque no vivan en Viena, F. Ramsey, H. Reichenbach, Carl Hempel, Bertrand Russell y el mismo A. Einstein. Científicos, filósofos, lógicos, matemáticos de primera línea que reflexionan acerca de la ciencia, su estructura, y su función en el mundo.

Un manifiesto marca su aparición pública como movimiento filosófico que pretende la hegemonía de su campo. Se titula *La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena*[5]. Será la exposición doctrinaria del movimiento epistemológico que se conoce como neopositivismo o empirismo lógico, pues añadía a la firme creencia de que todo conocimiento entra por los sentidos —continuando el empirismo de Hume, J. S. Mill, y Mach—, la noción de que su estructuración tenía la impronta de la lógica matemática de Bertrand Russell. Su visión de la ciencia se encuentra fuertemente influida por el *Tractatus* de Wittgenstein, también vienés como ellos[6].

En este medio social, cultural, filosófico se gesta el hipotético-deductivismo de Popper, quien en 1919, con apenas 17 años, asiste asombrado al éxito de las predicciones de Einstein acerca del comportamiento de la luz al acercarse a un fuerte campo gravitatorio, predicciones que fueron corroboradas durante un eclipse solar por dos expediciones científicas británicas que se instalaron en sitios geográficos distantes uno del otro. El episodio, por lo inusual y espectacular, fue comentado por la prensa de todo el mundo, marcando para siempre al joven Popper, quien encuentra en este rigor que lleva a someter a prueba una teoría científica, enfrentándola a las condiciones más estrictas que pudieran refutarla, y salir airosa, el signo distintivo de la ciencia, aquello que la separa de lo que no lo es.

Aunque había simpatizado con el socialismo y con el marxismo, compara desfavorablemente la actitud de los seguidores de Marx, y también de Freud y Adler, con la arriesgada apuesta de Einstein. Mientras los primeros veían en cada suceso —fuera el que fuese— una corroboración de sus teorías, sin que imaginaran siquiera que alguno de ellos pudiera contradecirlas, éste indica taxativamente las condiciones en que las consideraría refutadas.

Acababa de encontrar el núcleo central de su teoría de la ciencia, el que le permitirá separar ciencia de pseudociencia, entre las que engloba al marxismo y al psicoanálisis[7].

5. Puede verse en Neurath, 1973. B. Russell y A. Einstein, aunque no vivían en Viena, mantenían una estrecha relación con el Círculo, y firman el Manifiesto.

6. Pueden leerse como introducción a los principales temas del neopositivismo, además del Manifiesto: Ayer, 1936, 1959 y Wittgenstein, 1973, citados en la bibliografía.

7. Los datos referentes al desarrollo intelectual de Popper y a su vida, han sido tomados de Popper, 1972.

Continuará desarrollando su pensamiento dentro de estos grandes carriles directivos, para culminarlo en 1934, con la publicación de su libro.

Corría el año 1926 cuando, con sus posiciones epistemológicas ya maduras, comienza a relacionarse —y a discutir intensamente— con el Círculo de Viena, con el que se siente tan afín en intereses y tan distante teóricamente.

Sus miembros tenían, como es natural, su propia respuesta a los grandes interrogantes que mencionáramos anteriormente.

A la pregunta de qué separa a la ciencia de otro tipo de propuestas que pretenden generar también conocimiento, contestan trazando una línea de demarcación: el criterio de *verificación*. Los enunciados de la ciencia deben ser *verificables* por la experiencia, por los sentidos.

En verdad, la demarcación se da entre enunciados con significado —los verificables—, y los no significativos o sin sentido —los no verificables—.

De tal manera, la ciencia —y los enunciados empíricos en general— poseen sentido.

Por fuera de la cientificidad, de la significación, sitúan a la metafísica, sosteniendo que al no ser verificables, sus enunciados carecen de sentido.

Lo hacen oponiéndose —en el contexto de una gran disputa filosófica que se da a comienzos de siglo— a la postura que pretende crear conocimiento válido de la realidad basada sólo en las construcciones —los desvelos— de la razón. El propósito de fundamentar el conocimiento con el mayor apego posible a la experiencia —tomando como modelo del mismo a la ciencia—, los lleva a adoptar un empirismo estricto, combinado con el rigor constructivo y analítico de la lógica.

A la pregunta de qué manera procede la ciencia para justificar lo que dice —sus enunciados—, contestan: por experiencia directa si son acerca de hechos, por inducción a partir de éstos si son leyes.

Del mismo contexto teórico del neopositivismo surgían las dificultades que afrontaban ambas respuestas.

Con respecto a la verificabilidad, era evidente que las leyes no podían ser verificadas, puesto que era imposible constatar que algo ocurriera para todos los casos, en todo tiempo y lugar, como éstas lo expresan[8].

Paradójicamente, lo más característico de la ciencia, sus leyes, caía fuera de la cientificidad.

La inducción se encontraba bajo el fuego de las objeciones de Hume —uno de los autores favoritos de los neopositivistas—, quien la encuentra *injustificada*, con argumentos que sonaban irrebatibles. Como muchos inductivistas lo advirtieron, era consciente, además, de que la inducción no conducía hacia la Verdad.

8. Recordemos que la forma más común de una ley científica es :

$$(x)\ (Px \rightarrow Qx)$$

«Para todo x, si le sucede p, entonces le sucederá Q»; un ejemplo que usaremos más adelante dice: «Para todo animal con páncreas, si se le extirpa, entonces desarrollará diabetes».

B. Russell hará notar que si el procedimiento central en las teorías empiristas del conocimiento —la inducción— es injustificado, entonces no habría motivos valederos para oponerse al escepticismo más extremo. No podría erigirse en basamento para una concepción científica del mundo[9].

Estimando a la ciencia tanto como lo hacía el neopositivismo, Popper supera los inconvenientes apuntados al apartarse radicalmente de sus propuestas.

Dirá que la demarcación no separa lo que posee significado de lo que no lo tiene, y por consiguiente a la ciencia de la metafísica, sino a la *ciencia* de la *pseudociencia*. Al contrario de lo sostenido por el neopositivismo, afirmará que los enunciados de la metafísica son habitualmente comprensibles —poseyendo por lo tanto sentido—, y que sus especulaciones en más de una ocasión han mostrado ser valiosos antecedentes conceptuales de teorías científicas maduras. Por consiguiente, la metafísica, en vez de ser opuesta a la ciencia, puede ser incluso su precursora.

Además, era obvio que el criterio confirmacionista de la inducción no permitía sortear el duro escollo que suponen para el auténtico conocimiento las pseudociencias.

Su propuesta será, en consecuencia, antiempirista, antiverificacionista, antiinductivista.

El conocimiento científico, en el sentir de Popper, es refutacionista e hipotético-deductivista, configurando lo que llamó «racionalismo crítico». Sólo podrá avanzar si intenta refutar seriamente las teorías que propone la razón en respuesta a problemas interesantes, deduciendo aquellas situaciones que la ponen a prueba con más dureza. Son conjeturas, hipótesis que permanecen como tales hasta que son refutadas[10].

Su respuesta lo es tanto de un criterio de demarcación, cuanto de cómo la experiencia limitada del ser humano dice algo plausible acerca de las leyes, que van más allá de toda experiencia para extenderse a aquello desconocido, lo que sucederá, o lo que se encuentra distante en el tiempo o el espacio. Pero por encima de ello, permite entender lo que para Popper constituye el mayor desafío a una epistemología de la ciencia: las condiciones que hacen el *incremento* del conocimiento.

Gran parte de su encanto intelectual reside en la provocación implícita de acentuar los aspectos negativos de la actividad cognoscitiva, contra las evidencias del sentido común y lo aceptado por los científicos

9. Popper atribuye el arraigo de la errónea teoría inductiva de la ciencia a que los científicos debían demarcar su actividad de la pseudociencia, como también de la teología y de la metafísica, y habían tomado de Bacon el método inductivo como criterio de demarcación. Encontraban en él, y en el empirismo, una fuente de conocimiento comparable en fiabilidad a las fuentes de la religión de las que acababan de separarse (Popper, 1972, 195).

Para la crítica de Hume a la inducción, véase: D. Hume, *Tratado de la Naturaleza Humana*, Paidós, Buenos Aires. 1974.

10. Debieron haber sido tan inusuales las posturas de Popper en sus inicios —aunque ahora parezcan casi lugares comunes—, que relata que la primera vez que las expuso en una reunión de la Aristotelian Society de Londres en 1936, el auditorio las tomó por una broma o por una paradoja, y estalló en carcajadas, según lo narra en su autobiografía: *o. c.*, 147 y 148.

desde los lejanos días en que Bacon demarcara con la inducción a las ciencias naturales de la religión.

Sus puntos de vista terminan siendo aceptados por varios miembros del Círculo de Viena, entre ellos Carnap y Hempel, ya hacia 1932 (Carnap, 1935; Hempel 1935, esp. 249-254).

Victor Kraft, rememorando la época, dice que para entonces Popper había reemplazado a Wittgenstein como principal influencia en el Círculo[11]. El nazismo, que obliga a los intelectuales vieneses a emigrar —o morir—, y sobre todo el destino de Popper en la lejana Nueva Zelanda, tan incomunicada que una simple carta demoraba cerca de tres meses en llegar a Estados Unidos o Europa, pesa sobre la suerte del hipotético-deductivismo.

Se lo conoce durante años fundamentalmente en la versión de los miembros del Círculo de Viena, quienes emigrados al mundo anglosajón, adquieren un peso preeminente en sus universidades más prestigiosas. Al difundirlo, ellos lo tiñen con sus propias concepciones, entre las cuales la inducción sigue siendo central, ahora bajo la forma de «apoyo inductivo» a las hipótesis, que asimilan a menudo al cálculo probabilístico.

El confirmacionismo y el empirismo de los que renegara Popper, se cuelan en el hipotético-deductivismo.

Ya de regreso a Europa continuará su lucha teórica con el neopositivismo desde la *London School of Economics,* reafirmando que las hipótesis no se confirman, sólo se refutan, que la inducción es un mito innecesario para la ciencia, y que el empirismo es una doctrina epistemológica errónea[12].

Pero esto, parafraseando a Kipling, es sólo historia. Sólo contexto de descubrimiento. Aunque iluminador de ciertos aspectos del hipotético-deductivismo, sabemos que el conocimiento de la génesis no reemplaza al de la teoría acabada, con sus interrelaciones y sus peculiaridades.

Es hora de que hablemos de su estructura conceptual, de las razones epistemológicas que lo sustentan —su razonabilidad teórica—, y de su adecuación al campo específico al que se dirige, la ciencia y su desarrollo, —es decir, su razonabilidad empírica—[13].

11. V. Kraft, «Popper and the Vienna Circle», en Schilpp, 1972.

12. Para ese entonces, *La lógica de la investigación científica* estaba casi olvidada, y su primera versión alemana prácticamente inencontrable. Edita, para hacer conocer el centro de sus intereses filosóficos, una versión inglesa en fecha tan tardía como 1957. Tiempo sobrado para que se propagara el mito de un Popper positivista, y que su metodología se confundiera con la del Círculo de Viena.

Curiosamente, idéntico equívoco con respecto al primer positivismo ocurriría con la obra de C. Bernard: fue calificado de positivista, sin que aparentemente se advirtieran las facetas hipotético-deductivas de su pensamiento.

13. Presuponemos que la filosofía de la ciencia consiste en teorías sobre la ciencia —interpretaciones sobre la ciencia, diría Moulines—, que se comportan con respecto a su propio campo de aplicaciones de manera similar a la ciencia con el suyo. En este contexto es natural que describamos a la ciencia como su terreno *empírico* de justificación. El hipotético-deductivismo sobrevivirá si resiste la crítica teórica de otras concepciones de la ciencia, y la crítica empírica de su adecuación a la ciencia.

Mencionamos especialmente el desarrollo de la ciencia, tal como lo querría Popper, quien insiste siempre en que su principal preocupación no es tanto cuál es la estructura de la ciencia —la ciencia acabada—, cuanto su evolución, el aumento del conocimiento.

III. LA ESTRUCTURA DEL HIPOTETICO-DEDUCTIVISMO

La estrategia que seguiremos será la de presentar un modelo simplificado del método hipotético-deductivista —o dogmático—, en el que aparecerán nítidamente todos sus elementos constitutivos, para presentar a continuación un modelo más complejo —o liberalizado—, más ajustado a la actividad científica[14].

1. *El método hipotético-deductivo simple*

Recordemos el esquema del método inductivo, con el propósito de introducir, por oposición, los supuestos básicos del hipotético-deductivismo, a la manera en que Popper nos cuenta que escribió su *Lógica del descubrimiento*[15].

E ———inducción——— L

Se parte de observaciones expresadas mediante enunciados observacionales, que describen un cierto estado de cosas.

La reiteración de un número suficientemente grande de casos en los que sucede *E* permite, por inducción, llegar a enunciados generales —leyes o teorías—, *L* del esquema.

La ciencia, entonces, comienza por los hechos, para llegar a las leyes.

El hipotético-deductivismo invierte radicalmente el esquema, y al hacerlo elimina el papel de la inducción.

Sostiene que la dirección correcta es de las teorías hacia los hechos.

Popper hace notar que los sentidos están abiertos a una infinidad de estímulos, a innúmeros hechos que solicitan la atención, y que su registro indiscriminado mostraría un conjunto infinito, incoherente, absurdo, de enunciados.

Sólo adquieren sentido, se ordenan, a partir de un cierto punto de vista, de una cierta teoría que separa los que son relevantes de los que no lo son[16].

No se parte de la observación indiscriminada para inducir luego una teoría. Es la teoría la que muestra qué hechos se deben observar.

14. Debemos a Lakatos la estrategia de presentar al hipotético-deductivismo en dos etapas.

Contrariamente a lo que podría creerse de cierta lectura de Lakatos, pensamos que el modelo simplificado no es una mala imagen del hipotético-deductivismo. Por el contrario, en él aparecen con toda su fuerza los argumentos centrales de Popper —y por cierto, también los de Claude Bernard.

Es solamente eso, un modelo reducido, que explica ciertos aspectos del conocimiento científico, pero en el que puede demostrarse fácilmente que deja de lado otros que son fundamentales.

Es necesario completarlo, haciéndolo más complejo, para que abarque las facetas más significativas del quehacer científico.

15. *Búsqueda sin término*, 112

16. «Pero si se me ordena 'registre lo que experimenta ahora', apenas sé como obedecer esta orden ambigua: ¿he de comunicar que estoy escribiendo, que oigo llamar un timbre, vocear a un vendedor de periódicos, o el hablar monótono de un altavoz? (...) Incluso si me fuera posible obedecer semejante orden, por muy rica que fuese la colección de enunciados que se reúnen de tal modo, jamás vendría a constituirse en una *ciencia*: toda ciencia necesita un punto de vista y problemas teóricos» (Popper, 1973, 101).

Los hechos se *deducen* de la teoría y, finalmente, la pondrán a prueba de la manera más rigurosa posible.

En esquema:

T ———deducción——— E

Nos dice, además, que una teoría es una libre creación del espíritu humano, un intento audaz de solucionar problemas interesantes, producto de la intuición.

Tenemos ya definidos los principales elementos del método hipotético-deductivo simplificado:

P ———intuición——— T ———deducción——— E

Veamos ahora más de cerca estos elementos, sus características, y las razones de haber optado por la deducción frente a la inducción.

1.1. El comienzo del método: el problema

Constituye el gatillo disparador de la secuencia metodológica que esquematizáramos anteriormente.

Popper en su etapa más tardía, la de la *Autobiografía*, hace notar que los problemas no nacen en el vacío. Por el contrario son, al igual que la observación, producto de un encuadre teórico que hace que sean vistos como tales, excluyendo incluso en este punto al empirismo de lo dado, ya que no hay problemas sin teorías previas.

Dirá en algún momento que los problemas surgen como consecuencia de la tensión entre el saber y la ignorancia, cuando se percibe que algo no está en orden entre nuestro supuesto conocimiento y los hechos (Popper, 1972, 178; 1978).

Asimismo dirá que la crítica que efectúan la razón y la experiencia —el método H-D— a las teorías esbozadas como solución al problema, abre un abanico de nuevos interrogantes antes impensados, es decir, conduce a nuevos problemas.

El hecho de que a partir de las soluciones puedan presentarse nuevos problemas, al tiempo que explica la fertilidad de la ciencia, transforma en circular el esquema lineal que mostráramos anteriormente. Su comienzo podría situarse en cualquiera de sus miembros, con la única condición de conservar el orden de la secuencia.

Habitualmente Popper insiste en el carácter empírico o práctico de los problemas —según surjan de la propia realidad o de la relación que entable el hombre con ella—, con un énfasis menor en los problemas *teóricos* que pudieran presentar las mismas teorías[17].

17. Quizá sea debido al rechazo por parte de Popper a la «clarificación conceptual» de la ciencia que propusiera el neopositivismo, englobándola dentro de las consecuencias de buscar una teoría del significado. Aunque especifica que no la desdeña si es usada para eliminar confusiones que puedan surgir de un uso poco cuidadoso de las palabras.

1.2. El salto creativo: la intuición

En este punto, como en otros, es muy marcada la diferencia con la metodología inductivista, puesto que para el hipotético- deductivismo las leyes no se obtienen al generalizar observaciones, sino que existe un proceso creativo en su formulación que excede lo meramente observado u observable[18].

Otorgan razonabilidad a esta afirmación al menos dos tipos de argumentos.

Si consideramos el *lenguaje* en que se expresa la ciencia, es evidente que enuncia sus leyes empleando términos —palabras— que le son propios, y que no designan, habitualmente, objetos observables —gen, masa, átomo, especie, etc.—, o que redefinen lo observable —aceleración, primate, satélite, etc.—.

La inducción, que opera mediante la generalización de hechos cotidianos, mal puede ser invocada para explicar la aparición de estos términos. Sólo pueden provenir de un acto de creación. Sólo pueden ser *inventados*.

Lo creativo se evidencia además en el *material* previo con el que se construyen las leyes: *sueños* —como el de Kekulé que ve dormido una serpiente que se muerde la cola, y propone por semejanza el anillo ciclo-hexano para representar las moléculas de elementos orgánicos—; *mitos* —como el de Edipo o de Electra en la psicología freudiana—; *relatos legendarios* —como los que permitieron descubrir Troya—; *teorías metafísicas* —como la del átomo en la filosofía griega que inspira a Rutherford y otros científicos atómicos—; *ciencias incompletas* que bordean el mito o la pseudociencia —como la alquimia que se prolonga en la química moderna—.

Esta compleja red de sueños, relatos míticos, trasfondos metafísicos, observaciones, analogías, visiones entrecruzándose y fertilizándose mutuamente, oscuro magma donde se gesta la creación, se denomina genérica y globalmente *intuición*[19].

La observación de hechos particulares y la inducción a partir de ellos que caracteriza al inductivismo, son una instancia más de la que se vale la intuición para postular una hipótesis, ni mejor, ni más privilegiada que otras. No justifica las hipótesis, simplemente las sugiere.

Comienza ahora el método hipotético-deductivo propiamente dicho: una vez en posesión de la hipótesis, a la que se llega por mil caminos, y como respuesta a un problema planteado por la naturaleza o la sociedad, ha sonado la hora de ponerla a prueba con todo el rigor posible.

Es un punto que explorarán hasta sus últimas consecuencias otras filosofías de la ciencia, particularmente la de Thomas Kuhn (1971) y más recientemente la de Larry Laudan (1986).

18. Carnap, quien fuera un inductivista sofisticado, también había aceptado de Popper el salto creativo en la formulación de las teorías y leyes científicas. Ver, por ejemplo, R. Carnap, *Fundamentación lógica de la física*, Sudamericana, Buenos Aires, 1969.

19. Curiosamente, le dieron el mismo nombre tanto Popper como Bernard. Ambos denominaron «intuición» a este proceso.

1.3. Las hipótesis y la deducción

Popper, conjuntamente con sus contemporáneos, adopta el *giro linguístico* en sus análisis del conocimiento en general y del científico en particular. En consecuencia, aceptará como conocimiento aquel que se encuentra expresado, de manera oral o escrita, mediante proposiciones. No lo que se piensa o lo que se cree, sino lo objetivo, lo que se comunica[20].

La solución que el científico propone al problema planteado será, por tanto, un enunciado —una proposición—, no una idea o una creencia. Como toda proposición, será verdadera o falsa, aunque su verdad o falsedad se desconozca inicialmente —de allí su carácter hipotético— y haya que ponerla a prueba a fin de corroborarla o refutarla[21].

Habitualmente se trata de un enunciado general, de una ley que tentativamente se supone verdadera, con el valor de una apuesta que inicia el juego de la ciencia, y que mantendrá su vigencia mientras no se demuestre su falsedad.

Las reglas del juego serán, según Popper, las que fija la lógica deductiva. Al introducirlas como única forma inferencial en el seno de la ciencia, elude el riesgo de hacer de ésta una actividad injustificada, irracional, puesto que sus principios son auténticas leyes lógicas, cosa que no sucede con el principio que guía a la inducción[22].

Al hacerlo aparecen con nitidez algunas consecuencias impensadas que el método H-D acepta, y que pueden ser consideradas paradójicas a la luz del sentido común y de la anterior metodología inductivista.

Popper comienza haciendo notar que los enunciados generales —las leyes o hipótesis— mantienen una curiosa relación lógica con otro tipo de enunciados, deducibles inmediatamente de ellos: los que en vez de hablar de *todos*, hablan de *algunos* o *algún*.

En principio, presentan una total asimetría con respecto a sus posibilidades de verificación o de refutación.

Así, mientras los primeros son imposibles de verificar, los segundos son imposibles de refutar.

Para mostrarlo, apelamos nuevamente al argumento que se refiere a los enunciados universales, y a la imposibilidad de recorrer el infinito universo de su aplicación: la verificación es, así, impracticable.

Con respecto a los enunciados existenciales, como se llaman técnicamente los que se refieren a propiedades de algún o algunos miembros

20. Creían evitar así el subjetivismo o el psicologismo.

21. En el texto usaré indistintamente como sinónimos de proposición, a la usanza de la lógica medieval, *enunciado* o *afirmación*, como aquellas porciones del lenguaje que, al proporcionar información, deben ser consideradas verdaderas o falsas. *Hipótesis* es una proposición cuya verdad o falsedad se ignora, pero que se propone como una solución verdadera al problema planteado.

22. Puede demostrarse fácilmente por tablas de verdad el que una inferencia deductiva no tenga casos falsos —sea una tautología—, y por consiguiente sea una forma válida de razonamiento.

Incidentalmente, es necesario mencionar que el H-D presupone la identificación de la racionalidad con la lógica formal, que posibilita la crítica efectiva del conocimiento. Por fuera de sus reglas, dirá Popper, campea la irracionalidad, y la pseudociencia.

de un conjunto, es evidente que decir, por ejemplo, «hay una sustancia que cura el SIDA», o «hay una sustancia que cura el cáncer», no logra ser refutado por ninguna experiencia negativa, aunque se reiteren inacabablemente: siempre es lógicamente factible que lo que afirman ocurra en cualquier momento. La refutación es, en este caso, imposible.

De acuerdo al criterio de demarcación que hiciera entre ciencia y metafísica, estos enunciados, que parecieran estar más cerca de la experiencia son, paradojalmente, *metafísicos*, puesto que no son refutables.

Sin embargo, agrega luego, de esta relación depende la posibilidad de establecer lo acertado o no de la propuesta efectuada por el científico al enunciar su hipótesis.

Esto es así porque, según las reglas de la lógica, de un enunciado universal es posible construir, de manera inmediata, un enunciado existencial que se le oponga, que lo contradiga: aquél que afirme que existe al menos un ejemplar que no posee la propiedad que le atribuye el universal[23].

Un ejemplo lo mostrará más claramente. Si el enunciado general es:

«Todos los perros a los que se quita el páncreas —pancreatoprivos— desarrollan diabetes», el enunciado existencial que lo contradice es el siguiente: «Algunos, o al menos un perro es pancreatoprivo y no es diabético».

Como resulta evidente que si este último es verdadero, el primero es falso, la relación entre ambos tipos de enunciados, mediados por una inferencia deductiva inmediata concierne a la esencia misma del hipotético-deductivismo: la posibilidad de refutar las hipótesis.

Y algo más que quizás no se veía tan claramente cuando en nuestro esquema poníamos, deduciendo directamente de las hipótesis, a los enunciados observacionales. Deben deducirse no cualquier tipo de enunciados, sino aquellos que puedan ser contradichos.

No pide que se sea complaciente con las hipótesis, sino que se las trate con rudeza, que se intente refutarlas de la manera más dura posi-

23. Los lógicos tradicionales establecieron relaciones entre los valores de verdad de las proposiciones de la forma «todos», «algunos», «ninguno» en el clásico Cuadrado de Oposición, que permitía hacer una inferencia inmediata de una proposición a otra, sin necesidad de otra premisa. El mismo Cuadrado puede construirse con la notación lógica cuantificacional. De acuerdo a él, de «para todo valor de x, si posee la propiedad P, poseerá la propiedad Q», se infiere inmediatamente, que su contradictorio es «existe al menos un x que posee la propiedad P y no posee la propiedad Q».

Formalmente:

1) $(x)\ (Px \rightarrow Qx)$
2) $(Ex)\ (Px.-Qx)$,

siendo 1) el enunciado universal, y 2) su enunciado existencial contradictorio.

Así «Todos los perros a los que se extirpa el páncreas desarrollan diabetes» es contradicho por el enunciado: «Existe al menos un perro que tiene la propiedad P (no tiene páncreas) y no tiene la propiedad Q (no es diabético)».

Su negación, «no es cierto que existe al menos un ejemplar que tiene la propiedad P y no tiene la propiedad Q», formalmente: $- [(Ex)\ (Px\ .\ -Qx)]$ es lógicamente equivalente al enunciado universal, es decir, que es posible conectarlos poniendo entre ambos un bicondicional.

ble, es decir, buscando deliberadamente sus contraejemplos, para negarlos[24].

Otra de las afirmaciones provocativas de Popper, derivada de la relación entre enunciados universales y existenciales contradictorios, es que una ley puede ser escrita en forma de prohibiciones —cosa largamente sabida en Derecho—, caracterizándose sobre todo por aquello que prohíbe. Como consecuencia inevitable, aunque altamente conflictiva para el sentido común, se encuentra el que una teoría posea mayor contenido empírico —hable de más cosas— mientras más prohíbe. Es suficiente comenzar a pensarlo para entender la profunda razonabilidad que involucra, y lo mucho que se aparta de la inducción y su problemática.

Relacionada con la anterior afirmación, se emparenta otra igualmente provocativa: el contenido informativo aumenta cuanto más improbable sea una hipótesis, por el sencillo motivo de que si fuera más precisa —si dijera, por ejemplo, que un eclipse de sol tendrá lugar el 3 de mayo de 1997 a las 14.45 hs.—, sería más *improbable* que fuese verdad —por ser más estrecho el margen de error—, que si expresa de manera general que en el curso del año 1997 se producirá un eclipse, siendo obvio que brinda mayor información.

Habíamos mencionado que un enunciado existencial es un enunciado metafísico, que mal puede poner a prueba, por sí, a una ley, a una hipótesis. Lo hace, porque él es deducible de otro tipo de enunciado que se encuentra apegado a la experiencia y es refutable, como debe serlo cualquier enunciado empírico.

Se trata de enunciados que hablan de *éste* o *éstos* individuos, con las propiedades que estipula el enunciado existencial derivable, situados en un tiempo y lugar determinados. Es necesario agregar la observabilidad tanto de individuos como de propiedades, y la posibilidad real de su contrastación *intersubjetiva*, lo que implica, en la mayoría de los casos, la repetitividad del suceso.

Popper los llama «existenciales singulares», para oponerlos a los otros existenciales. Reciben también el nombre de «enunciados básicos», ya que son sobre los que se apoya toda la estructura cognoscitiva, poniéndola a prueba a través de la cadena de deducciones que los ligan a los enunciados universales.

Constituyen la «base empírica» de las hipótesis, el cimiento mediante el cual la ciencia se encuentra anclada en la experiencia.

Siguiendo con nuestro ejemplo, el enunciado: «Si a Fido y Sultán, los perros que se encuentran en el laboratorio de fisiología de la Facultad de Medicina de Buenos Aires, se les quita el páncreas, no desarrollarán

24. Es sencillo encontrar enunciados que confirmen una teoría, cualquiera sea ella; las pruebas positivas abundan incluso con respecto al valor curativo de creencias místicas o religiosas. Cuando leemos el supuesto valor curativo de los sacerdotes de Esculapio o de las peregrinaciones a Lourdes, pensamos en los placebos, más que en una teoría de los milagros. Por el contrario, debemos pensar siempre en qué condiciones nuestra teoría podría ser falsa, y contrastarla según estas condiciones. Sólo las refutaciones fallidas tienden a corroborarla, convirtiéndose así en casos positivos de la misma —instancias de la teoría—.

diabetes», es el enunciado básico del que se deduce el existencial antes mencionado.

No hay dudas que se podrá constatar si efectivamente tendrán diabetes o no una vez que se les extirpe el páncreas.

Los pasos que sigue el método, una vez propuesta una *hipótesis fundamental* como solución al problema, consisten en deducir *hipótesis derivadas*, algunas de las cuales podrán ser contradichas por enunciados *existenciales contradictorios*, que se deducen de *enunciados básicos*.

Veamos ahora otra de las consecuencias paradojales que aparecen al optar por la deducción como procedimiento inferencial único de la actividad científica, y que al incidir en la verdad o falsedad que se les atribuye a las hipótesis fundamentales, expresa una nueva asimetría.

1.4. La refutación de hipótesis y el *modus tollens*

Se acostumbra a definir la deducción como la forma de inferencia en la que partiendo de premisas verdaderas, se llega con el mayor rigor a conclusiones verdaderas.

Si en el hipotético-deductivismo lo que conocemos es la verdad o falsedad de las conclusiones —enunciados básicos— luego de ser contrastados, ¿será posible saber de la verdad o falsedad de las premisas en las que se originaron —hipótesis fundamentales—, remontando en sentido inverso el camino habitual?

La inferencia que permite refutar una hipótesis conociendo la falsedad de la conclusión, es una forma válida de razonamiento deductivo conocida desde el medievo con el nombre de *modus tollens*, y que puede ser expresada de la siguiente manera: «Si ocurriendo p debe ocurrir q, y q no ocurre, entonces p no ha ocurrido».

Formalmente:

$p \rightarrow q$	«Si p es verdadera, entonces q es verdadera»
$-q$	«q no es verdadera»
$-p$	«p no es verdadera»

Las dos primeras son las premisas; la línea muestra que ha habido una deducción, que es precisamente la no ocurrencia de p.

Aplicado a la contrastación de hipótesis, la primera premisa nos dice que si la hipótesis es verdadera, el enunciado básico que se deduce de ella —implicación contrastadora—, es verdadero. Si constatamos que es falso, también es falsa la hipótesis originaria[25].

Veamos ahora cómo funciona el *modus tollens* con nuestro ejemplo.

Sea una vez más nuestra hipótesis fundamental: «Todos los animales pancreatoprivos desarrollan diabetes»; el enunciado existencial que la

25. Para una descripción más detallada del *modus tollens*, ver: Copi, 1974.

contradice es: «Algunos perros pancreatoprivos no desarrollan diabetes», y el enunciado básico correspondiente: «Estos perros, Fido y Sultán, sin el páncreas, no desarrollan diabetes».

Dado que si la hipótesis es verdadera, los enunciados que la contradicen son falsos, el enunciado q del esquema registra esta situación, expresando: «No es posible que a Fido y Sultán se les quite el páncreas y no desarrollen diabetes». Al hacerlo, adopta la forma de una prohibición.

Sean así, la hipótesis fundamental el enunciado p del *modus tollens,* y q el enunciado contrastador ya que, si sucede el primero, debe suceder el segundo.

Si la experiencia muestra que Fido y Sultán logran finalmente regular los hidratos de carbono sin el páncreas, entonces el enunciado contrastador es falso ($-q$). La prohibición ha sido quebrantada. El *modus tollens* nos permite deducir ahora que la hipótesis fundamental es falsa, y que no es cierto que *todos* los animales sin páncreas desarrollen diabetes ($-p$).

Sabemos, desde Claude Bernard, que los animales en cuestión desarrollarán diabetes, y que este será el resultado del experimento. El enunciado contrastador será verdadero.

¿Será también verdadera la hipótesis?

Si lo expresamos formalmente, tal como lo hicimos con el *modus tollens,* veremos la siguiente forma de razonamiento:

$p \rightarrow q$	«Si p es verdadera, entonces q es verdadera»
q	«q es verdadera»
———	«se deduce que»
p	«p es verdadera»

Pues bien, esta *no es una forma de razonamiento válida*, ya que se puede demostrar fácilmente que existen casos en los que las premisas son verdaderas y la conclusión es falsa. Parece un razonamiento válido, pero no lo es. Se trata de una *falacia*, la de afirmación del consecuente, destruyéndose con su incorrección la ilusión de afirmar por su intermedio la verdad de la premisa conociendo la verdad de la conclusión[26].

La situación no varía si en vez de un enunciado básico verdadero se deducen —y se constatan— varios e incluso innumerables enunciados básicos verdaderos. Esto no le agrega un ápice de verdad a la hipótesis fundamental, ya que siempre estaremos, en caso de afirmarla, haciendo uso de la falacia de afirmación del consecuente.

No diremos nunca que la hipótesis es verdadera. Diremos algo más débil, que está *corroborada*, con lo que se expresa que en el proceso de contrastación no le ha pasado nada, no ha sido refutada, aunque pudiera refutarse en el futuro.

26. La verdad de una consecuencia lógica no permite afirmar que la hipótesis de la que se partió sea verdadera. En el caso de la falacia de afirmación del consecuente, las tablas de verdad muestran la incorrección de la inferencia.

Véase asimismo Copi, 1974, 265

Paradójica enseñanza de la lógica que consagra una nueva asimetría, la que manifiesta Popper cuando sostiene, con una convicción indiscutible, que las leyes científicas se caracterizan por ser refutables, mas no verificables.

Es una consecuencia inexorable que, conservándose la verdad en toda la secuencia deductiva, desde las premisas a la conclusión —en esto consiste precisamente deducir correctamente, en partir de premisas verdaderas para llegar a conclusiones verdaderas—, si la conclusión es falsa, la premisa es necesariamente falsa. Ésta es la racionalidad que se expresa en el *modus tollens.*

En cambio, ya que partiendo de premisas falsas puede llegarse a una conclusión verdadera, la verdad de la conclusión no dice nada acerca de la verdad de las premisas. A esto apunta la falacia de afirmación del consecuente[27].

A la pregunta de cómo justificamos las leyes, el hipotético-deductivismo responde que *nunca* las justificamos, *permanecen para siempre como hipótesis*; sólo las contrastamos severamente tratando de refutarlas, y si se fracasa en este intento, se comienza a *usarlas* en la práctica científica sin considerarlas verificadas, puesto que podrán ser refutadas más adelante.

2. *El método hipotético-deductivo liberalizado*

La esquematización que comentáramos anteriormente, con la clásica secuencia de problemas, formulación de hipótesis, intento serio de refutarla mediante sus consecuencias lógicas —enunciados básicos—, seguida de:

i) rechazo de la hipótesis si lo observado en la naturaleza la desmiente;

ii) aceptación provisoria si esto no sucede —corroboración de la hipótesis—, si bien posibilita una introducción adecuada a los principales argumentos del hipotético-deductivismo, ha sido llamada *dogmática* o *ingenua*, y provendría de una incorrecta simplificación del pensamiento de Karl Popper y de Claude Bernard.

Lo dogmático consiste en la creencia de que los enunciados básicos cuando contradicen a las hipótesis fundamentales las refutan inexorablemente, siendo obligación del científico acatar el *no* que le dicta la naturaleza, y rechazarlas de inmediato.

Aun cuando podamos considerarla dogmática, representó un avance frente al inductivismo, que obligaba a *partir de hechos* desnudos y a *inducir* luego *teorías verdaderas*. Tres pretensiones que constituían exigencias imposibles de cumplir, al estar desvinculadas de la realidad de la

27. Si llamamos teoría de la transferencia de la verdad el que la conclusión debe ser verdadera si las premisas lo son, Popper llama teoría de la retrotransferencia de la falsedad el que si la conclusión es falsa, lo debe ser al menos una de las premisas.

investigación, y frente a las cuales incluso el refutacionismo dogmático representó una liberación para los científicos[28].

El hipotético-deductivismo liberalizado refleja más fielmente aún la práctica científica. En ella, la refutación se encuentra demorada por instancias intermedias, que el refutacionismo ingenuo, con su acento puesto en los elementos lógicos de la contrastación de hipótesis, no había tomado en cuenta.

Claude Bernard narra una experiencia que ilustra acabadamente el punto:

> Hace mucho tiempo yo anuncié un experimento que sorprendió grandemente a los fisiólogos: el experimento consiste en producir a un animal la diabetes artificial mediante la puntura de la base del cuarto ventriculo. Yo me sentí tentado a probar esta punción como resultado de consideraciones teóricas que no necesito recordar; todo lo que necesitamos saber aquí es que lo logré a la primera tentativa, a saber que el primer conejo que operé se puso totalmente diabético. Pero luego hice el experimento repetidas veces (8 ó 10), sin obtener los mismos resultados. Entonces me encontré en presencia de un hecho positivo y de ocho o diez hechos negativos; sin embargo nunca pensé en negar mi primer experimento positivo en favor de los experimentos negativos subsiguientes. Totalmente convencido de que mis fracasos se debían a que no conocía las verdaderas condiciones de mi primer experimento, persistí en mis trabajos tratando de descubrirlas. Como resultado, logré definir el lugar exacto de la punción y mostrar las condiciones en que debería colocarse el animal que había que operar; de modo que hoy podemos reproducir la diabetes artificial, siempre que nos coloquemos en las condiciones que sabemos que son necesarias para su aparición (Bernard, 1959, 212-213).

Claude Bernard nos muestra, primeramente, coincidiendo con Popper, que el experimento surge de la teoría y no a la inversa («yo me sentí llevado a probar esta punción como resultado de consideraciones teóricas que no necesito recordar»), y a continuación su tenacidad en persistir en su hipótesis primera, pese a repetidas situaciones refutatorias. Luego va a argumentar —y suponemos que debe haberse visto frente a tales situaciones en el curso de sus extensas investigaciones— que debería persistirse incluso en ausencia de un primer éxito casual como el que menciona:

> Voy a añadir a lo anterior una reflexión que muestra cuántas fuentes de error pueden rodear a los fisiólogos en la investigación de los fenómenos vitales. Voy a suponer que en lugar de lograr inmediatamente poner diabético al conejo, habían aparecido al principio todos los hechos negativos; resulta claro que, después de fracasar dos o tres veces, debería haber llegado a la conclusión de que la teoría que me servía de guía era falsa, y que la punción del cuarto ventrículo no producía diabetes.

28. El hipotético-deductivismo se ha llamado también refutacionismo o falsacionismo.
Al invertir la relación entre teorías y hechos, y al estipular que las primeras son libres creaciones del intelecto humano, el H-D rompe el corsé de acero del inductivismo, que limitaba la labor científica a observar hechos (pero ¿cuáles?), induciendo leyes injustificadas en las que no se podían introducir conceptos explicativos nuevos.

> Pero habría estado equivocado; con cuánta frecuencia se han debido equivocar los hombres y se deben equivocar aún a este respecto (*ibid.*, 213).

No piensa, en el relato anterior, que su teoría esté refutada porque el experimento no fue exitoso en más de ocho ocasiones. Ahora nos dice que tampoco la hubiera considerado así aunque la experiencia hubiera salido mal dos o tres veces, incluso en ausencia de un éxito casual que animara a seguir el camino emprendido. Y si, siguiendo los dictámenes del refutacionismo ingenuo lo hubiera hecho, si hubiera pensado que la confrontación con la naturaleza la refutaba, hubiera estado en un error.

¿Cometía acaso un atentado contra la racionalidad, contra la lógica cuando procedía de esta manera, como lo hubiera supuesto un refutacionista dogmático?

El hipotético-deductivismo liberalizado es la respuesta metodológica que devuelve la razonabilidad al proceder del científico cuando defiende su hipótesis pese al fallo descalificatorio de la naturaleza, concediéndole una cuota mayor de libertad en su accionar.

Ella surge de las condiciones propias de la situación experimental —que introduce una complejidad mayor al esquema del H-D—, y del cuestionamiento de que el o los enunciados básicos que refutan la hipótesis sean indubitables.

2.1. La problemática introducida por la situación experimental

¿Qué sucede cuando entre el enunciado básico que describe un cierto estado de cosas y su refutación (o verificación) que refuta (o corrobora) la hipótesis originaria se interpone, con toda necesidad, el experimento, o en los casos más simples, la sencilla observación?

Sucede que se introducen, necesariamente, otras hipótesis en la cadena deductiva, que marcan la diferencia entre el refutacionismo ingenuo y la realidad fáctica en que se mueve la ciencia y el investigador mismo. Son ellas:

i) *Hipótesis auxiliares* acerca de los materiales empleados en el experimento: el animal, la aguja utilizada, el líquido inyectado, etc.

ii) *Hipótesis factoriales*, que proponen que las variables estudiadas sean las únicas que inciden en el resultado de la experiencia: en el caso relatado por Bernard, el supuesto de que únicamente la punción en un solo sitio del cuarto ventrículo producía diabetes.

A su vez, estas hipótesis adicionales pueden ser simples hipótesis aisladas, o formar parte de sistemas teóricos diferentes al de la hipótesis puesta a prueba, como podrían ser consideraciones acerca de la anatomía y fisiología del conejo.

Ahora puede verse con claridad que lo que se contrasta *no es sólo* la hipótesis originaria, sino un *conjunto de hipótesis*, por lo que el experimentador se encuentra en condiciones tales que sin violar ninguna regla de racionalidad, pueda *decidir* que el resultado de la experiencia no refuta la hipótesis fundamental, sino alguna de las hipótesis adicionales. Así se explica que pueda insistir una y otra vez ante el *no* de la naturaleza, y finalmente triunfar.

Para eludir la refutación, formula hipótesis *ad-hoc*, nombre genérico que recibe toda hipótesis introducida con el único fin de proteger los supuestos iniciales.

En una correcta práctica científica, las hipótesis *ad-hoc* se aceptan sólo para ser puestas a prueba y corroboradas en un diseño experimental independiente.

El código de honor científico, apoyado por el refutacionismo liberalizado, no prohíbe tratar de evitar la refutación ante resultados negativos mediante hipótesis *ad-hoc*. Sólo prohíbe que se las acepte sin contrastarlas. Su corroboración, puesto que se refiere a factores intervinientes en la zona de la realidad que explora la hipótesis principal, aumenta el conocimiento de la misma, jugando un rol que se juzga como progresivo, y en algunas variantes del refutacionismo, indispensable para el avance de la ciencia (Lakatos, 1974; 1975).

Las fallas de Claude Bernard en sus intentos de provocar diabetes en los conejos, y su negativa a considerarlas refutatorias de la presunción acerca de un centro de control de la glucemia en el cuarto ventrículo, aduciendo problemas en su punción —lo que ponía en cuestión a un conjunto de hipótesis acerca de la anatomía del conejo, la habilidad en el manejo de la aguja, la profundidad requerida por la punción, etc.—, es una clara muestra de la fertilidad de la tenacidad de los científicos —obstinación irracional la llamaría el refutacionismo dogmático—, argumentando *ad-hoc* contra la respuesta de la naturaleza a los primeros requerimientos.

No sólo puede objetarse la corrección del conocimiento acerca de las características que poseen los elementos involucrados en el experimento, como en el caso citado.

Las objeciones *ad-hoc* pueden abarcar también a las hipótesis factoriales.

Sabemos que una ley estipula que se cumplen ciertas relaciones entre elementos de un dominio, y que la experimentación busca corroborar el acierto de dichas postulaciones.

Sin mencionarla, interviene en el proceso una hipótesis sumamente importante, que denominaremos con un nombre de larga historia en filosofía, la cláusula *ceteris paribus*, por la que se presume que en el campo problemático en estudio no inciden —además de los estudiados— otros factores[29].

29. Así, por ejemplo, la mecánica de Newton puede decidir que la influencia de la masa de los astros es despreciable a los efectos de calcular la trayectoria de un péndulo o de un sistema balístico, y no incluirla en sus fórmulas. O la humedad del ambiente, o las ondas hertzianas que cruzan el espacio contemporáneo. Lo mismo sucede con la genética mendeliana o la molecular cuando establecen los rasgos hereditarios de una generación; la astrología no comparte, como sabemos, la cláusula *ceteris paribus* de estas disciplinas.

Ante una experiencia desfavorable pudiera aducirse *ad-hoc*, y sin caer en la irrazonabilidad, que han intervenido en el proceso algunos de los factores desconocidos.

Cuando algunos resultados perturbadores parecieron contradecir las hipótesis de Bernard acerca del rol del páncreas y el cuarto ventrículo en la regulación del metabolismo de los hidratos de carbono, los científicos no las consideraron refutadas. Simplemente adujeron *ad-hoc* contra la cláusula *ceteris paribus*, la importancia de otros órganos en el proceso. Así, se pudo proponer y demostrar el papel de la hipófisis —no prevista por Bernard— en el equilibrio de dicho metabolismo; siguieron luego experiencias similares en otras glándulas de secreción interna, en un proceso que condujo a una ampliación del conocimiento fisiológico[30].

Una vez más, la apuesta *ad-hoc*, ahora contra la hipótesis factorial, puesta a prueba rigurosamente, juega a favor del desarrollo de la ciencia.

Hipótesis auxiliares acerca del material de trabajo, hipótesis factoriales, cláusula *ceteris paribus*, hipótesis *ad-hoc* forman parte del entramado teórico que se pone en juego cada vez que el científico comprueba la corrección o la falsedad de su hipótesis fundamental, debilitando el dogmatismo del método hipotético-deductivo, para transformarlo en liberalizado. Interpuestas entre ésta y la experiencia, demoran, amortiguan el poder refutatorio de los enunciados básicos, contribuyendo en el proceso a aumentar el conocimiento humano.

Falta un último ingrediente en la liberalización del método: el cuestionamiento a la verdad indubitable de los enunciados básicos que conforman la *base empírica* de la ciencia.

Ya se había establecido el carácter hipotético de las teorías científicas, así como de todo el complejo de hipótesis auxiliares que intervienen en

Desde el siglo V a. C. se conoce una manera de evaluar la pertinencia o no de un factor como causa de un cierto suceso que se investiga, y que Hipócrates, el primero en dárnoslo a conocer, menciona con las siguientes palabras: «Las enfermedades son el resultado de una amplia variedad de causas, y debemos considerar causas seguras de una afección, todas aquellas cosas cuya presencia es necesaria para que aparezca, y cuya ausencia determina su desaparición» (P. Laín Entralgo, *Historia universal de la medicina*, Salvat, Barcelona, 1973).

El método de Hipócrates es recogido por la filosofía en la obra de Stuart Mill, que lo menciona como «método de las concordancias y las diferencias», de la siguiente manera:

— *Método de la concordancia*: «Si dos o más casos del fenómeno que se investiga tienen solamente una circunstancia en común, la circunstancia en la cual todos los casos concuerdan, es la causa (o el efecto) del fenómeno en cuestión» (Copi, 1974, 426).

— *Método de la diferencia*: «Si un caso en el cual el fenómeno que se investiga se presenta y un caso en el que no se presenta tienen todas las circunstancias comunes excepto una, presentándose ésta solamente en el primer caso, la circunstancia única en la cual difieren los dos casos es el efecto o la causa, o una parte indispensable de dicho fenómeno» (Copi, 1974, 430).

Distintas palabras para expresar el mismo concepto hipocrático.

Observemos que si bien el método permite efectivamente afirmar la pertinencia de una variable, no discrimina si en la contrastación se establece su única pertinencia, o la de su conjunción con otras variables que se desconocen de momento.

La cláusula *ceteris paribus* está presente una vez más, pese a todos los refinamientos metodológicos.

30. En 1947, Bernardo Houssay recibe el premio Nobel por haber contribuido con sus experiencias a establecer el papel central de la hipófisis en la regulación del metabolismo de los hidratos de carbono (B. A. Houssay, *Fisiología humana*, El Ateneo, Buenos Aires, 1945).

ciencia, y con ello el *falibilismo* de todo conocimiento, por más sólidamente establecido que se lo considere.

Es hora de llevar el falibilismo a sus últimas consecuencias, introduciéndolo también en los enunciados básicos.

2.2. El cuestionamiento de los hechos

El empirista construye su teoría del conocimiento y de la ciencia sobre la base firme de los *hechos observables*. Lamentablemente la inducción, herramienta lógica de su epistemología, le impide llegar hasta las leyes.

Para el refutacionista dogmático, los hechos refutan a las teorías; al hacerlo arroja por la borda junto con las hipótesis falsas, porciones de conocimiento que pudieran ser válidas, e inhibe investigaciones legítimas derivadas de las hipótesis *ad-hoc*.

El refutacionista liberalizado demole cuidadosamente la seguridad en lo indudable de los hechos. Sin embargo, refleja más adecuadamente la actividad científica y estimula el aumento del conocimiento.

2.3. El hecho experimental

La presencia del experimento en la casi totalidad de las contrastaciones más o menos complejas altera de manera radical la sencilla «observabilidad» de los *hechos*, puesto que el hecho no sólo es *fabricado* por el diseño experimental, sino que además los resultados —los datos— son leídos a través de una *teoría interpretativa*, con cuyo auxilio se construyeron los *instrumentos* de lectura.

El color rojo que aparece en un papel tornasol permite leer la acidez de una orina sólo si se lo interpreta a la luz de una teoría muy simple, la que rige al mencionado papel. Menos inmediato y más complejo es el resultado que aporta un fotocolorímetro, pero el esquema es el mismo: una o más teorías nos aseguran que cierta desviación de la aguja quiere decir tal cosa, siendo tal cosa el *hecho* que el empirista y el refutacionista dogmático quieren ver como lo arquetípico de lo directamente observable y verificable, obviando las teorías interpretativas que llevan a asignar otro valor al rojo del papel, o al trazo del fotocolorímetro. Sea acidez o aumento de las gammaglobulinas, el dato no se encuentra en la simple observación, sino en la interpretación de lo observado.

Es suficiente dudar de la teoría interpretativa, o de la correcta disposición del instrumento, para poder cuestionar —*ad-hoc*, una vez más—, la validez de los datos expresados en el enunciado básico, transformándolo de indudable en falible, una hipótesis más, la más básica, pero hipótesis al fin[31].

31. Una situación quizá límite lo constituye la hipótesis de Prout, quien sostuvo en 1815 que todos los átomos están compuestos de átomos de hidrógeno —la unidad atómica de peso—, y que por tanto los pesos atómicos de todos los elementos puros eran múltiplos enteros del de hidrógeno. Todas las mediciones desmintieron esa afirmación durante casi un siglo, durante el cual los sucesores de Prout cuestionaron con éxito las sucesivas técnicas que permitían purificar y pesar sustancias —contribuyendo con la crítica a su perfeccionamiento—; fue corroborada recién cuando en el laboratorio atómico de Rutherford se diseñaron técnicas físicas de purificación, en reemplazo de las técnicas químicas empleadas hasta ese momento. El cuestionamiento de los enunciados básicos que refutaban a Prout, cuestionando las teorías interpretativas que permitían construirlo, duró casi un siglo (cf. Lakatos, 1974).

2.4. El hecho observable

El hipotético-deductivismo va a avanzar aún más en instaurar el falibilismo incluso en esta última etapa de construcción del conocimiento: la que expresan los enunciados básicos que hablan, ya no de acidez o de la tasa de fosfatasas en sangre, sino de algo mucho más simple y directo, del color rojo en el papel, o del movimiento de una aguja en una escala numérica.

Los argumentos son variados y tienden a establecer que ellos también son hipótesis acerca de la naturaleza que es necesario contrastar, y por tanto falibles, refutables —recordemos que si no lo fueran, no serían, según el criterio de demarcación, enunciados empíricos—.

El primero de ellos consiste en que los enunciados de observación están formulados en términos *universales* —conceptos—, que no pueden ser reducidos, por hablar de *todos* los caballos o los vasos, o el agua, a experiencias singulares por muy numerosas que sean, de la misma manera que las leyes *no son* un conjunto enumerable de sucesos idénticos; ambos son, lógicamente, conjuntos infinitos. Dirá Popper que los universales tienen el carácter de una teoría, de una hipótesis, ya que con la palabra «vaso» se denotan los cuerpos físicos que se comportan como se espera que se comporten los vasos, sucediendo lo mismo con la palabra «agua» o «caballo». Si el comportamiento es distinto al esperado, la hipótesis de que lo designado sea agua o vaso, se verá refutada.

No sólo el enunciar aquello que se observa se encuentra impregnado de teoría. La percepción misma es mediada por teorías interpretativas tan tempranamente adquiridas unas, como la escala cromática, que parecieran haber nacido con nosotros; otras, como las que hacen al conocimiento de objetos macroscópicos, son teorías muy elementales, pero sin embargo, también adquiridas, también construidas. Esto le otorga el carácter potencialmente falible que suponíamos inherente a otros niveles de conocimiento[32].

Percepción de un color —teoría visual— enunciado empírico son pasos plenos de hipótesis, y por tanto refutables.

Si los enunciados básicos son hipótesis, construidos con conceptos también hipotéticos que expresan cualidades observables hipotéticas, de contrastación por tanto infinita, y cuya verdad nunca podrá establecerse, ¿cómo podremos usarlos para poner a prueba las leyes e intentar refutarlas?

32. La epistemología genética de Jean Piaget apoya las afirmaciones de Popper de que incluso la percepción —ver rojo, caballo o vaso—, depende de teorías interpretativas básicas construidas mayoritariamente desde el nacimiento hasta los 6 años.

Como lo expresara Popper, el conocimiento común es hipotético-deductivista.

Popper piensa que en algún momento de la cadena de contrastaciones es necesario *decidir* que los enunciados básicos con los que pretendemos poner a prueba la hipótesis fundamental ya han sido suficientemente corroborados, y pueden ser *aceptados* en consecuencia como si fuesen verdaderos[33].

Es ahora, que han sido aceptados, cuando se encuentran en condiciones de corroborar o refutar la hipótesis fundamental.

IV. ¿REFUTACION?

Actualicemos el esquema del H-D a la luz de la red de hipótesis y teorías que hemos presentado mediando entre la hipótesis fundamental y los enunciados básicos, para explicar la racionalidad (pragmática y lógica) del científico cuando decide sostenerla pese a fallos adversos de la experiencia, sin guiarse por las normas del refutacionismo dogmático:

i) De la *a) hipótesis fundamental*, conjuntamente con una *b) teoría interpretativa* experimental —distinta a la que pertenece la hipótesis primera— y una *c) cláusula ceteris paribus* se deduce

ii) una situación experimental, en cuyo montaje intervienen d) *hipótesis auxiliares* acerca del material de trabajo, y a cuyo término se produce un *e) dato sensorial*, el que es leído a través de una *f) teoría interpretativa básica*, y expresado mediante un *g) enunciado básico* que describe la experiencia sensorial —del tipo de «el papel viró del blanco al rojo en contacto con la orina»—, expresado mediante *h) términos universales*, que implican nuevas teorías, ahora lingüísticas, y que, merced a la «traducción» efectuada por la teoría interpretativa experimental, es leído como:

iii) un *enunciado básico contrastador* —que afirma, por ejemplo, «la orina posee un pH ácido»— aceptado convencionalmente como verdadero, mediante el cual corroboramos o refutamos la hipótesis fundamental.

Se plantea entonces la siguiente situación: si el enunciado básico la corrobora, entonces la cláusula *ceteris paribus* no nos permite afirmar que sea la única corroborada, y los motivos lógicos expuestos anteriormente nos vedan decir que sea verdadera.

Si la contradice, el falibilismo de todo el conjunto de hipótesis y teorías empleadas hace que sea razonable suponer —antes de darla por falsa— que lo refutado es alguno de los eslabones que la unen al enunciado básico.

Alejados ya de la simplicidad esquemática del refutacionismo dogmático, ¿qué tiene de extraño que el científico defienda su hipótesis frente a un dato de la experiencia?

33. Esto significa que aceptar la base empírica es una convención, aunque se trate de enunciados lo suficientemente sencillos para que los científicos puedan acordar su aceptación y poner fin a la secuencia infinita de contrastaciones.

Es pertinente formular una pregunta, ante la visión de un edificio hipotético-deductivista en el cual lo único que permanece firme son las leyes de la lógica que —lo sabemos— no proporcionan información, son trivialmente verdaderas: habiendo destruido la inducción y la verificación, ¿no correremos el riesgo de perder ahora también a la refutación ahogada por el conjunto potencialmente infinito de hipótesis *ad-hoc* que admite en todos sus niveles? ¿Significa esto que es imposible refutar una hipótesis fundamental, y nos hundimos una vez más en el escepticismo del que creíamos escapar?

No en el refutacionismo liberalizado.

En párrafos anteriores subrayamos, deliberadamente, la palabra *decidir*. Una decisión no es un elemento lógico, mas no por eso es arbitraria; se toma sopesando motivos, razonadamente; eliminando la subjetividad de la decisión en la discusión con otros científicos.

Así, es posible *decidir* que el enunciado básico contrastador, observacional, se encuentra lo suficientemente corroborado como para aceptarlo; *decidir* que el material de trabajo pasó todos los controles de calidad adecuados en forma satisfactoria; *decidir* que las teorías interpretativas experimentales nos proveen de resultados fiables, ya que han sido usadas y probadas anteriormente; *decidir* dar por demostrada la ausencia de otros factores relevantes, y recién entonces considerar refutada la hipótesis principal.

Decisión que compete, más que a un científico aislado, a un conjunto de investigadores que controla la secuencia experimental por medio de intercambios personales, comunicaciones públicas, repeticiones de experiencias, etc. De esta manera la comunidad científica, en su funcionamiento real, disminuye el riesgo inherente a toda decisión distribuyéndolo entre sus miembros, a través de la socialización de la discusión.

Con todo, las decisiones adoptadas pueden revisarse en cualquier momento a la luz de nuevas evidencias empíricas, o nuevas inquietudes teóricas, y reiniciar así un proceso de contrastación nunca cerrado definitivamente, como lo muestra de manera reiterada la historia de la ciencia.

V. MAS ALLA DEL REFUTACIONISMO

Una enigmática frase de Claude Bernard al final de su narración de la experiencia —frustrada en un comienzo— de provocar diabetes artificial a un conejo mediante la punción del cuarto ventrículo, nos colocará al límite del refutacionismo, sea dogmático o liberalizado.

Decía Bernard refiriéndose a dicha frustración: «Los hechos negativos, cuando se consideran aisladamente, nunca nos prueban nada, nunca pueden destruir un hecho positivo» (*o. c.*, 213)[34].

34. Si leemos a la luz de estas reflexiones el retraso de Saturno, que refutaba aparentemente la teoría de Newton —sólidamente asentada en infinidad de «hechos positivos», resultados confirmatorios en

Evidentemente, lo que llama hecho negativo es un enunciado básico refutatorio.

Añade a continuación: «Un hecho crudo no es científico, y un hecho cuya causalidad es irracional debería ser expulsado de la ciencia». Aunque no ignora la existencia de estos hechos, los califica de incomprensibles mientras no muestren las condiciones que los determinan, so pena de caer «en el reino de lo indeterminado, a saber de lo oculto y maravilloso», con lo que el razonamiento experimental «estaría continuamente detenido o inevitablemente llevado al absurdo» (*ibid.*, 218)

¿Qué quiere decir Bernard con «hecho crudo»? Aquel cuya *causalidad* se ignora. Sólo pertenece a la ciencia, entonces, cuando se conoce a qué ley obedece, y ésta debe ser, necesariamente, otra distinta a la que refuta.

En síntesis: un hecho refuta una hipótesis cuando es consecuencia observacional de otra hipótesis. Lo que refuta una hipótesis es otra hipótesis, a través de enunciados básicos que la corroboran. Así, un mismo hecho refuta a la primera, mientras corrobora a la segunda. Esta situación ha recibido el nombre de *experiencia crucial*, puesto que permite decidir entre dos hipótesis alternativas acerca del mismo campo de estudio.

Popper concuerda totalmente con este punto de vista, y le da una vuelta de tuerca cuando compara teorías complejas como las de Newton y Einstein. No bastaba que una explicara un fenómeno mientras que la otra fallaba en hacerlo, como sucedía con el adelantamiento del perihelio de Mercurio, que refutaba a la primera, siendo un resultado natural de los cálculos de la segunda. Debía tener mayor contenido empírico, explicar sucesos en un rango de fenómenos más amplio. Fue necesario que la teoría de Einstein predijera la incurvación de los rayos lumínicos cuando pasan cerca de una masa gravitatoria considerable, hecho no previsto por la teoría newtoniana, y que fuera corroborado en el curso de la experiencia que marcó a Popper en 1919[35].

Hemos pasado, casi inadvertidamente, de la contrastación de hipótesis aisladas —para el que parecía especialmente diseñado el refutacionismo liberalizado—, a la contrastación de hipótesis alternativas y luego a la elección entre teorías más amplias con desarrollos que abarcan numerosos rangos de fenómenos que las corroboran o las desafían. Sus evoluciones en el tiempo y el reemplazo de unas por otras comienzan a ser impensables incluso en el marco del hipotético-deductivismo más liberalizado.

todos los campos de la mecánica—, era natural que los científicos buscaran otra explicación al suceso que excluyera la falsedad de la teoría newtoniana, lo que condujo al descubrimiento de Neptuno.

35. Lakatos dirá que el juicio no se emite en el momento del choque crucial entre teorías, sino que es diferido hasta contemplar más de la evolución de ambas, demorando históricamente el reemplazo de una por otra. Lo que en principio no se considera una experiencia crucial, llega a serlo cuando se contempla retrospectivamente el desarrollo de las teorías. Aunque quizá nos encontremos aquí no en el límite del hipotético-deductivismo, sino por fuera del mismo, donde no nos acompaña el pensamiento de Popper o de C. Bernard.

Nos encontramos en este momento en una inflexión dentro de la filosofía de la ciencia que marca el cambio de la problemática iniciada por el neopositivismo a una nueva manera de entender la actividad científica: el avance de la ciencia como desarrollo de *paradigmas*, estrategia de reflexión inaugurada en 1962 por Thomas Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas*, que cierra un capítulo brillante de la historia, para iniciar otro.

BIBLIOGRAFIA

Ayer, A. J. (1936), *Language, Truth and Logic*, Gollancz, Londres. V. e.: *Lenguaje, Verdad y Lógica*, Martínez Roca, Barcelona, 1971.

Ayer, A. J. (ed.) (1959), *Logical Positivism*, The Free Press of Glencoe, Chicago, 1959. V. e.: *El positivismo lógico*, FCE, México, 1965.

Bernard, Cl. (1959), *Introducción al estudio de la medicina experimental*, El Ateneo, Buenos Aires (v. fr.: París, 1865).

Carnap, R. (1935), *Philosophy and Logical Syntax*, Kegan Paul, London.

Copi, I. (1974), *Introducción a la lógica*, EUDEBA, Buenos Aires.

Kuhn, Th. (1971), *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México, 1971.

Lakatos, I. (1974), *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*, Tecnos, Madrid.

Lakatos, I. (1975), «La falsación y la metodología de los programas de investigación», en I. Lakatos y A. Musgrave (eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Grijalbo, Barcelona.

Laudan, L. (1981), *Science and Hypothesis. Historical Essays on Scientific Methdology*, Reidel Publishing Co., Dordrecht, Boston, London.

Laudan, L. (1986), *El progreso y sus problemas*, Encuentro, Madrid.

Popper, K. (1935), *Logik der Forschung*, Julius Springer Verlag, Viena; v. ingl.: *The logic of Scientific Discovery*, Hutchinson & Co., London, Basic Books Inc., New York, 1957. V. e.: *La lógica de la investigación científica*, Tecnos, Madrid, [4]1973.

Popper, K. (1972), «Intellectual Autobiography», en P. A. Schilpp (ed.), *The Philosophy of Karl Popper*. V. e.: *Búsqueda sin término*, Tecnos, Madrid, 1977.

Popper, K. (1978), *La lógica de las ciencias sociales*, Grijalbo, México.

Schilpp, P. A. (ed.) (1972), *The Philosophy of Karl Popper*, Open Court, La Salle, 1972.

Varios (1973), *The Scientific Conception of the World: The Vienna Circle*, en O. Neurath, *Empiricism and Sociology*, Reidel Publishing Co., Boston, 299-318.

Wittgenstein, L. (1973), *Tractatus Logico-Philosophicus*, Alianza, Madrid, 1973.

EL CONCEPTO DE LEY CIENTIFICA*

Javier Echeverría

I. INTRODUCCION

La filosofía de la ciencia ha conocido a lo largo del siglo XX un amplio debate sobre el concepto de *ley*, así como sus relaciones con la *explicación científica*. El modelo nomológico-deductivo propuesto por Popper, Hempel y Oppenheim, que tiene claros antecedentes en Hume, Mill y otros muchos autores, ha sido sin duda el centro de la controversia: el apartado II estará dedicado a presentarlo y comentarlo, partiendo de las diversas críticas que han sido formuladas contra el mismo. Otras muchas alternativas han sido propuestas y el apartado III intenta sintetizarlas y exponerlas brevemente. Los diversos autores que se han ocupado de la cuestión han estudiado y utilizado numerosas caracterizaciones y definiciones del concepto de «ley»; sin embargo, ninguna de ellas se ha revelado plenamente satisfactoria. En su reciente obra *An Architectonic for Science*, Balzer, Moulines y Sneed afirman que «a pesar de las muchas discusiones sobre las leyes, carecemos todavía de un conjunto adecuado de condiciones necesarias y suficientes que sirva como criterio para considerar a un enunciado como ley» (W. Balzer, C. U. Moulines y J. Sneed, 1987, 15). Paralelamente, se han estudiado las relaciones entre leyes y teorías, así como la existencia de *leyes fundamentales*. La necesidad o la contingencia de las leyes científicas, su determinismo o indeterminismo, al igual que las diferencias que pueda haber entre las leyes de la física y las leyes de la biología o las ciencias sociales, por ejemplo, han sido

* El presente trabajo fue redactado en Urbana (USA), con ocasión de una estancia investigadora desde febrero a agosto de 1991 en la University of Illinois at Urbana-Champaign y en la Northwestern University de Evanston, financiada por el Ministerio de Educación y Ciencia, dentro del Plan de Movilidad de Personal Investigador. Agradezco a los profesores Schacht y McCarthy, de ambas universidades, todas las facilidades recibidas para el desarrollo de mi labor investigadora.

otros tantos temas ampliamente tratados y debatidos, de los cuales se hará alguna mención en el apartado V.

El presente trabajo trata de aportar una nueva perspectiva en el análisis de estas cuestiones, subrayando el hecho de que las leyes científicas, antes que nada, han de ser leyes, lo cual acota considerablemente el debate, por una parte, pero a la vez lo hace derivar hacia problemas que han sido muy poco tenidos en cuenta por los filósofos de la ciencia. Resulta ilustrativo recordar que en el siglo XVII, con la emergencia de la ciencia moderna, tuvo lugar una similar controversia, pero no en torno a las leyes, sino a los principios de la ciencia y a sus excepciones (los milagros). La irrupción del concepto de *ley natural*, y su contraposición con las *leyes de la naturaleza*, ha de ser asimismo objeto de comentario, pues en ambas nociones se traslucen presupuestos que conviene explicitar y tener presentes en todo momento al hablar de *leyes científicas*: el apartado IV aportará muy sucintamente algunos de estos datos históricos. Sobre la base de todo ello, el último apartado presentará nuestra propia propuesta, basada en la inexorable componente semiótica de toda actividad científica[1], que será desarrollada y fundamentada en una *ontología social de la ciencia*, a partir de la cual el concepto de ley científica podrá ser considerado desde una perspectiva bastante diferente de la usual.

II. EL MODELO NOMOLOGICO-DEDUCTIVO DE EXPLICACION CIENTIFICA

La filosofía empirista de la ciencia ha considerado los *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* de Newton como el principal paradigma de la explicación científica: las leyes de Newton, y en particular la segunda, que ha sido llamada con frecuencia *ley fundamental*, no sólo explican científicamente hechos físicos, tales como el movimiento de los planetas o las mareas, sino que también dan razón de leyes previamente propuestas, como las de Kepler o Galileo. Por supuesto, las leyes de Newton son predictivas: ejemplos típicos de predicción científica son las apariciones del cometa Halley o la existencia de planetas no observados, cuya posición aproximada se logra inferir en base a las irregularidades que presenta la órbita de Urano con respecto a lo previsto por las leyes de Newton. La concepción deductivista de la ciencia, defendida con tanto vigor por Popper en su *Logik der Forschung* (Popper, 1934), siempre ha tenido muy presente que las leyes científicas no sólo explican hechos o fenómenos concretos, sino también proposiciones y enunciados generales, que al ser subsumidos como consecuencias de leyes fundamentales pasan a ser deducidos a partir de éstas y se convierten con ello en leyes *derivadas* o *particulares*. Tal y como ha señalado Wilson (1985, 2), estas tesis deductivistas sobre la explicación científica habían sido propugnadas, de una u otra manera, por la tradición empirista, como bien muestra el siguiente pasaje de John Stuart Mill:

> Se dice que un hecho individual es explicado al indicar su causa, esto es, al establecer la ley o leyes de causación, de las que la producción del hecho individual no es más que una instanciación (...); una ley o uniformidad de la naturaleza se dice que es explicada al indicar otra ley o leyes, de las que la misma ley no es más que un caso, y de las que puede ser deducida[2].

Popper (1934; 1959), y sobre todo Hempel y Oppenheim (1948), así como Hempel (1962), han precisado y sistematizado esta concepción de la explicación científica en términos que pueden ser resumidos de la manera siguiente:

Sea un hecho H, del tipo *a es G*. Para explicarlo, hemos de determinar unas *condiciones iniciales* C, del tipo *a es F*, y una *ley* o *teoría* T tales que C y T impliquen H. En el caso más sencillo, supuesto que la ley o teoría T establece que *todo F es G*, y supuesto que dicho enunciado general es verdadero, al igual que las condiciones iniciales C, el esquema lógico-formal del proceso de explicación científica es el siguiente:

$$\begin{array}{l} T: (x)\ (Fx \longrightarrow Gx) \\ C: Fa \\ H: Ga \end{array}$$

En el caso en que C haya sido observado antes que H, se dice que ha habido una predicción: el esquema nomológico-deductivo de Hempel se caracteriza por la tesis de la simetría entre explicación y predicción. Ambas responden a un mismo modelo formal y, en general, toda explicación científica es potencialmente una predicción razonada, es decir basada en leyes. Cuando la cuestión a explicar no es un hecho H, sino una proposición universal P, el esquema formal seguiría siendo el mismo. C y T (que pueden estar compuestos por varias condiciones iniciales y varias proposiciones que representan otras tantas leyes) constituyen el *explanans*, mientras que el hecho H, la proposición P o en general el evento E son el *explanandum*. Así estructurado, el proceso de explicación científica debe satisfacer una serie de condiciones de adecuación, tanto lógicas como empíricas, que Hempel resume de la manera siguiente:

1. El *explanandum* debe ser una consecuencia lógica del *explanans*, lo cual significa que ha de ser deducible lógicamente de él.
2. El *explanans* debe incluir leyes generales, que han de ser efectivamente precisas para derivar el *explanandum*.
3. El *explanans* debe poseer contenido empírico, lo cual significa que debe ser contrastable, al menos en principio, por experimento u observación.
4. Todas las proposiciones que contituyen el *explanans* deben ser verdaderas.

1. Tesis previamente expuesta por el autor en 1985 y 1987.

2. J. S. Mill, *Sistem of Logic*, III, 12, 1.

Estas cuatro condiciones caracterizan, según Hempel, una explicación científica verdadera, pero también una predicción, dado que la diferencia entre explicación y predicción es puramente pragmática. Consiguientemente:

> Una explicación de un evento particular no es completamente adecuada a menos que su *explanans*, considerado en el tiempo, pudiera haber servido de base para predecir el evento en cuestión (C. G. Hempel, 1965, 247-249).

Las objeciones a esta concepción deductiva-nomológica de la explicación y de la predicción científicas han sido muchas y han estado basadas en muy distintos argumentos. Wilson distingue cuatro tipos de ataques:

a) Aquellos que critican la *tesis de la simetría* entre predicción y explicación, arguyendo ejemplos de explicaciones científicas que no conllevan predicciones, o de predicciones que no son explicaciones.

b) Ataques basados en proposiciones que satisfacen formalmente los requisitos del modelo deductivo-nomológico pero que no parecen ser auténticas explicaciones científicas o, en una variante del mismo tipo de crítica, que podrían explicar otro tipo de eventos conforme al mismo esquema deductivo.

c) Autores que insisten en los aspectos pragmáticos de la explicación científica, que de ninguna manera se muestran en el esquema puramente sintáctico propuesto por Hempel. El presente trabajo podría ser incluido en este grupo.

d) Críticas basadas en explicaciones científicas, e incluso en explicaciones perfectamente causales, que no recurren a ningún tipo de ley para ser llevadas a cabo. Muchas de estas críticas han surgido del ámbito de las ciencias sociales (historia, antropología, economía, etc.), así como de las explicaciones funcionales en biología y otras ciencias.

En el siguiente apartado volveremos con mayor detalle sobre algunas de estas críticas. Por el momento, nos limitaremos a comentar el concepto de ley científica que se deriva de las propuestas de Hempel. La definición de ley que usa es la siguiente:

> Por ley general entenderemos aquí un enunciado de forma universal condicional que puede ser confirmado o desconfirmado por ulteriores hallazgos empíricos (Hempel, 1965, 231).

Consiguientemente, las leyes científicas serían *hipótesis universales*, suficientemente bien confirmadas por la evidencia empírica disponible. Sin embargo, este segundo requisito podría relativizar los enunciados nómicos, haciéndolos dependientes de una evidencia concreta E, punto éste que Hempel no está dispuesto a aceptar:

> Así, por ejemplo, no diríamos que la fórmula general de Bode para la distancia del Sol a los planetas fue una ley, relativamente a la evidencia astronómica disponible en 1770, cuando Bode la propuso, dejando de ser una ley tras el descubrimiento de Neptuno y la determinación de su distancia al Sol; antes bien, diríamos que la limitada evidencia original había concedido alta probabilidad a la asunción de que dicha fórmula era una ley, mientras que información adicional más reciente ha reducido tanto esa probabilidad que prácticamente es cierto que la fórmula de Bode no es verdadera en general, y por consiguiente no es una ley.

Y consiguientemente:

> Requerir verdad de las leyes tiene como consecuencia que de un enunciado empírico dado S nunca puede conocerse definitivamente si es una ley (Hempel, 1965, 265).

Como puede verse, la exigencia de que el *explanans* sea verdadero en todas sus componentes conlleva inmediatas complicaciones, obligando a Hempel a desarrollar toda su teorización sobre la explicación científica para un lenguaje formal, en el cual cada formulación efectiva de una ley científica debería de tener su expresión correspondiente. Dicho lenguaje L, tal y como es introducido por Hempel, posee únicamente un cálculo proposicional sin identidad, con cuantificador universal y existencial, constantes y variables individuales y predicados de cualquier grado. El universo del discurso de L se reduce a objetos físicos o a localizaciones espacio-temporales. Con ello, la noción de ley científica queda radicalmente reducida, conforme al más estricto programa fisicalista. Siendo sus predicados primitivos de orden exclusivamente cualitativo, Hempel, tras reconocer que «un marco lingüístico de trabajo del tipo caracterizado aquí no basta para formular teorías científicas, puesto que no contiene functores y no proporciona los medios para tratar los números reales» (*Ibid.*, 271), pretende a pesar de todo dejar abierta la cuestión de reducir todos los conceptos de la ciencia empírica a predicados primitivos de tipo puramente cualitativo.

Por supuesto, dicho programa apenas si ha suscitado tentativas efectivas de ser llevado a cabo, quizá por las propias insuficiencias del modelo nomológico-deductivo. Por citar sólo las más importantes: de atenernos a la propuesta formalizadora de Hempel, que fundamenta el concepto de ley científica en este tipo de lenguaje L, para dilucidar si un enunciado es nómico o no tendríamos que reducir la teoría correspondiente al lenguaje formal L, lo cual parece completamente irrealizable. De hecho, ésta ha sido una de las críticas principales que ha suscitado la *concepción heredada* en filosofía de la ciencia, dando lugar a propuestas alternativas, como las de Kuhn, Lakatos, la concepción semántica o la concepción estructural. Por otra parte, es claro que difícilmente este tipo de concepciones podrían ser utilizadas en el caso de las ciencias sociales, por no mencionar las matemáticas (en las cuales también se habla de leyes: véase la ley de los grandes números, o la ley de distribución de los números primos), la informática, la teoría de la información, la lingüística matemática y en general las teorías que no pertenecen al ámbito de las ciencias naturales.

Aparte de la condición de ser verdaderas, Hempel exige otros requisitos a las leyes científicas, que pueden ser resumidas en la propuesta de Goodman, según la cual hay enunciados que pueden ser considerados como cuasi-leyes (*lawlike*) por su forma sintáctica (Goodman, 1947, 125). Ello incluye los enunciados analíticos, por una parte, pero asimismo las proposiciones con contenido empírico que satisfagan las siguientes condiciones: universales por la forma, condicionales, ilimitadas en el ámbito de su aplicación (al menos en el caso de las leyes fundamentales) y, sobre todo, que no incluyan referencia a objeto particular alguno, lo cual lleva a Hempel a exigir que los predicados usados en la formulación de las cuasi-leyes sean exclusivamente cualitativos. Obviamente, las leyes estadísticas quedarían en principio fuera del marco propuesto por Hempel, pero al reconocer que juegan un papel importante en la ciencia, tuvo que dedicar una atención especial al problema de la *explicación estadística*, distinguiendo entre una explicación inductivo-estadística de los hechos y una explicación deductivo-estadística de las regularidades, que no es el caso de considerar aquí en detalle (Hempel, 1965, 376-412).

El defecto mayor del modelo hempeliano deriva de la pretensión de reducir las teorías y las leyes científicas a su expresión lingüística, siendo así que, tal y como ha afirmado el físico Feynman (y como por otra parte ha sido componente esencial de las leyes desde la emergencia de la ciencia moderna), su formulación precisa es ante todo matemática y, desde luego, la reducción de nociones matemáticas como las de derivada, integral, límite, etc., a lenguajes formales como los propuestos por Hempel constituye una empresa abocada al fracaso. El recurso a técnicas formalizadoras más ágiles y poderosas, como la técnica del predicado conjuntista propuesta por Suppes y Sneed, parece una condición *sine qua non* para hacer viable el modelo nomológico-deductivo.

Ocurre, por otra parte, que las condiciones exigidas por Hempel a las formulaciones de las leyes científicas no satisfacen, ni mucho menos, otras muchas características de las mismas. El propio Feynman, sin ir más lejos, distingue en el caso de la física hasta seis propiedades importantes de los enunciados nómicos, que escasamente coinciden con los considerados por Hempel:

1. Las leyes fundamentales requieren formulaciones matemáticas, habiendo siempre varias formas de expresarlas (basadas en diferentes conceptos, predicados y operadores). Por otra parte, la expresión matemática representa por sí misma una vía para el descubrimiento de nuevas leyes, como ocurrió en el caso de Dirac, e incluso en el del propio Einstein. Este diferente potencial heurístico, por decirlo en términos de Lakatos, es fundamental también en el caso de los enunciados nómicos.
2. Las leyes físicas nunca son exactas, hecho éste (*inaccuracy*) que ha sido ampliamente analizado por Scriven (1961, 91-92), sobre cuyo análisis de las leyes científicas volveremos a continuación.

3. Las leyes físicas tienden a ser simples, por lo que respecta al modo de su formulación. La belleza y la simplicidad en la formulación de una ley son con frecuencia un criterio de veracidad para los físicos.
4. Las leyes físicas son universales.
5. Muchas de las leyes físicas más importantes satisfacen el requerimiento de ser simétricas por su formulación. Dicha propiedad ha tenido asimismo una función heurística muy considerable.
6. Por supuesto, las leyes físicas han de ser válidas, en el sentido de concordar con los correspondientes experimentos.

Es claro que las propuestas de Feynmann (1965, c. 4), ni son sistemáticas ni responden a los cánones de rigor que un filósofo de la ciencia formado en la tradición analítica requeriría para sus reconstrucciones de las teorías y conceptos científicos. Sin embargo, resultan ilustrativas de cómo piensan los propios físicos sobre el tema de las leyes científicas.

III. OTRAS CONCEPCIONES SOBRE LAS LEYES CIENTIFICAS

En la fase de emergencia del positivismo lógico, el Círculo de Viena afirmó que la ciencia es ante todo descriptiva, y que por tanto la explicación (en particular causal) no forma parte de las metas de una filosofía científica (Schlick, 1949, 17-21). Ulteriores desarrollos de la filosofía analítica de la ciencia fueron modificando esta concepción, de tal modo que, primero Popper (1935, c. 3.7) y luego el propio Carnap (1950, 3; 1966, 12-17), aceptaron la función explicativa de las teorías científicas. Aunque el modelo deductivo-nomológico de explicación científica ha centrado el debate en torno a las leyes científicas en los últimos años, otras muchas posturas han sido mantenidas, que conviene recordar brevemente.

Braithwaite, por ejemplo, afrontó el problema de las diferencias entre las leyes y las generalizaciones accidentales, que había sido comentado previamente por Hume, Mach, Pearson y Jeffreys:

> La diferencia entre universales de ley y universales de hechos radica en los diferentes papeles que desempeñan en nuestro pensamiento más que en ningún tipo de diferencia en su contenido objetivo (Braithwaithe, 1953, 294-295).

También Reichenbach (1947, c. VIII; 1954) estudió el mismo problema, concluyendo que la distinción entre enunciados nómicos y generalizaciones accidentales es simplemente epistémica, y está basada en los diferentes tipos de evidencia empírica que sustentan la verdad de ambos tipos de enunciados generales. Hanson (1959), Scriven (1958, 1959, 1962, 1963) y Goodman (1947, 1955) fueron los primeros críticos del modelo deductivo-nomológico, mientras que Toulmin (1953, 1972) propugnó una concepción instrumentalista de las leyes y de las teorías como alternativa a las concepciones positivistas de la concepción heredada. Al estudiar la explicación de los fenómenos históricos, Dray (1957) defendió la especificidad de las explicaciones históricas, que tratan de captar la intencionalidad de las acciones humanas, lo cual no sucede en el caso de las ciencias naturales. Nagel (1961, cc. III y IV), en su extensa obra sobre la estructura de la ciencia, comentó ampliamente estos problemas, sin llegar a conclusiones definitivas. La postura de Rescher (1969; 1970, 97-121) estriba en afirmar que las leyes científicas no revelan factores objetivos del mundo, sino que dependen de nuestras propias imputaciones, y por tanto de nuestra mente. Más recientemente, Skyrms (1980) ha propugnado un tratamiento puramente pragmático de la cuestión, mientras que Van Fraassen (1988), al centrar el debate sobre la explicación científica y la función de las leyes en la lógica erotética, y por tanto en el tipo de preguntas a las que responden las diversas explicaciones científicas, ha abierto una nueva vía en el tratamiento del problema. Las obras editadas por Pitt en 1988, así como por Kitcher y Salmon en 1989, junto con el libro reciente de Salmon, *Four Decades of Scientific Explanation* (1990), proporcionan amplios materiales en torno a la evolución de la controversia, si bien contribuciones tan importantes como las de von Wright (1971) no han merecido un adecuado tratamiento en dichas obras (Echeverría, 1989, c. 2).

Retomaremos aquí algunos de los puntos centrales del debate, comenzando por las *leyes físicas*, que sin duda han sido el principal objeto de análisis. Michael Scriven resumió bien algunas de las propuestas más características en su artículo «The key property of physical laws-inaccuracy» (1961, 91-104), motivo por el cual tomaremos dicho texto como primer hilo conductor.

Para Scriven, «el hecho más interesante sobre las leyes de la naturaleza consiste en que se conoce virtualmente que todas son erróneas» (Scriven, 1961, 91). Ninguna de ellas es verdadera en los términos en los que está formulada en los libros de texto: y menciona como ejemplos las leyes de Newton, las leyes de Boyle y de Charles para los gases, las dos leyes de la termodinámica, la ley de Snell de la refracción óptica, la ley de la elasticidad de Hooke, etc. Consiguientemente, se puede pensar que las leyes son sólo probables, tanto en el sentido trivial de que nunca pueden haber sido comprobadas en todos los casos sobre los que versan, por ser éstos innumerables, como en el sentido de que, pese a ello, poseen un alto *grado de confirmación*, usando dicho término en el sentido técnico de Carnap, que está basado en el cálculo de probabilidades. Para Scriven este segundo tipo de análisis de las leyes tampoco sirve: ni son verdaderas ni son probablemente verdaderas, porque de hecho se sabe que no son ciertas.

Surge así una tercera concepción, ampliamente difundida, que sugiere que las leyes físicas son *buenas aproximaciones* con respecto a los hechos observables, limitando incluso, en un cuarto modo de análisis, su validez a un cierto ámbito de aplicación. Sin embargo, la noción de buena aproximación no es fácil de definir: si la hacemos depender del grado de pre-

cisión de los instrumentos usados o de lo que es aceptable como tal en un momento histórico dado, la estamos convirtiendo en una noción básicamente pragmática.

Una sexta teoría, según el orden de Scriven, establece que las leyes son efectivamente verdaderas, pero en cambio no son generales: son aserciones sobre la imposibilidad de un determinado evento («el cero absoluto es inalcanzable», «no existe el móvil perpetuo de primera especie», etc.) y resultan particularmente usuales en termodinámica. La concepción puramente descriptivista de las leyes, según la cual éstas resumen datos y regularidades, sin más, sería una séptima concepción, que podría dar lugar a una octava: las leyes son esencialmente estadísticas, como suele decirse al hablar de la mecánica cuántica.

Scriven distingue una novena concepción basada en la suposición de que las leyes físicas son verdaderas, pero no por lo que respecta a los fenómenos que se supone describen: son proposiciones que versan sobre nuestras sensaciones. La objeción obvia consiste en que también nuestras sensaciones pueden estar sujetas a error, a pesar de lo que hayan afirmado muchos clásicos del empirismo[3]. En el extremo opuesto, muchos han afirmado que las leyes, además de ser verdaderas, son necesariamente verdaderas, e incluso principios de necesitación natural. Una undécima concepción diría que las leyes no son ni verdaderas ni falsas, sino más bien convenciones o reglas de inferencia que elegimos debido a su particular utilidad para predecir y explicar hechos físicos. La insistencia en la generalidad de las leyes como un punto esencial, y en particular la exigencia de que no involucren en sus formulaciones ningún nombre individual, caracteriza una duodécima concepción; a juicio de Scriven resulta dudosa, pues es claro que las leyes de Kepler, por ejemplo, tienen al Sol como referente inexcusable en su propia formulación. Por otra parte, no es nada sencillo definir lógicamente la noción de nombre propio o individual, como los recientes debates en torno a dicho tema han mostrado (Kripke, 1972). Por último, Scriven distingue una decimotercera postura, según la cual lo que distingue a las leyes de otro tipo de enunciados empíricos con pretensión de generalidad es su capacidad para soportar enunciados contrafácticos, como señalaron Lewis (1983, 1986) y otros muchos.

Como resultado de todo este recorrido en torno a las diversas concepciones sobre las leyes físicas, Scriven propone la siguiente definición de dicho concepto:

> Podemos decir brevemente que las leyes físicas más típicas expresan una relación entre cantidades o una propiedad de sistemas que es *la aproximación utilizable más simple* al verdadero comportamiento físico y que parece ser *teóricamente tratable* (Scriven, 1961, 100).

3. Véase, por ejemplo, Bertrand Russell, quien sostuvo que «el percibir no está sujeto a error» (Russell, 1966, p. 312).

Independientemente de los defectos y de las virtudes que pudiera tener esta solución de compromiso, puede servirnos al menos para subrayar un nuevo punto problemático e importante: una ley es tratable teóricamente, según Scriven, si resulta ser consistente con alguna teoría establecida o si parece que puede ser una base adecuada para una teoría nueva. Muchas de las reflexiones más recientes en torno al concepto de ley científica han insistido en la estrecha interrelación entre *leyes* y *teorías*, o si se prefiere en el hecho de que nunca se enuncia una ley aisladamente: ello siempre tiene lugar en el marco de una o varias teorías, estén éstas aceptadas por la comunidad científica o representen, por el contrario, teorías alternativas a las vigentes.

Así lo han hecho Frederick Suppe y los representantes de las concepciones semántica y estructural, por mencionar dos escuelas de amplia incidencia en las últimas décadas del siglo XX. Comentando las tesis de Scriven, y más concretamente la definición precedente del concepto de ley física, Suppe escribe:

> En lo esencial una teoría es un modelo general del comportamiento de los sistemas dentro de su ámbito. El modelo es un *sistema relacional* cuyo dominio es el conjunto de todas las ocurrencias de estados lógicamente posibles, y cuyas relaciones determinan secuencias de ocurrencias de estados temporalmente dirigidas que se corresponden con el comportamiento de sistemas posibles dentro de su ámbito propuesto, e indican qué cambios de estado son lógicamente posibles. Dichas relaciones secuenciales son las *leyes* de la teoría (Suppe, 1976, 249).

Y a continuación distingue diversos tipos de leyes:

1. Leyes deterministas de sucesión, como las leyes de la mecánica newtoniana.
2. Leyes estadísticas de sucesión, basadas en los procesos de Markov, que asignan probabilidades condicionales en el tiempo a cada cambio de estado.
3. Leyes deterministas de coexistencia, como las teorías del equilibrio en microeconomía.

Suppe admite otros tipos de leyes, en particular las que versan sobre la interacción de sistemas, pero lo esencial radica siempre en que «una teoría modeliza los comportamientos de sistemas posibles dentro de su ámbito, a base de determinar secuencias de ocurrencias de estados que corresponden a los comportamientos de todos esos posibles sistemas» (Suppe, 1976, 249). Las leyes no son sino relaciones que determinan secuencias posibles a lo largo del tiempo; pero lo hacen a través de las modelizaciones previamente elaboradas, que son consustanciales a la teoría:

> De acuerdo con la concepción semántica de las teorías, las teorías científicas son sistemas relacionales que funcionan como modelos icónicos que caracterizan todos los cambios de estado posibles que los sistemas de su ámbito podrían experimentar bajo circunstancias ideales. Y la teoría será *empíricamente verdadera* si y sólo si la clase de secuencias posibles de las ocurrencias de estado determinada por la teoría

> es idéntica a los comportamientos posibles de los sistemas dentro de su ámbito propuesto, bajo condiciones ideales (Suppe, 1976, 251).

Tanto la concepción semántica como la estructural subrayan la importancia de la noción de *modelo* para el análisis y la reconstrucción de las teorías científicas, y por consiguiente de las leyes científicas. Balzer, Moulines y Sneed establecen esta diferencia radical con respecto a la concepción heredada en filosofía de la ciencia en los siguientes términos:

> La intuición básica que subyace a nuestra propuesta consiste en que las partes más pequeñas de la ciencia empírica que sean significativas o interesantes —cosas como las leyes empíricas— quedan mejor caracterizadas, no como entidades lingüísticas, sino como entidades modelo-teóricas, es decir como clases de estructuras teórico-conjuntistas (W. Balzer, C. U. Moulines y J. Sneed, 1987, XXI).

Una teoría científica usa modelos matemáticos y los aplica a aquellos ámbitos empíricos para los cuales se ha propuesto efectivamente (por parte de la comunidad científica) que dicha teoría puede ser aplicada. Siendo las teorías universalizadoras, no lo son más allá del conjunto de sus aplicaciones propuestas, las cuales introducen una componente semántica ineludible en la estructura de toda teoría. Las leyes han de cumplirse rigurosamente en los modelos matemáticos, pero no así cuando éstos son interpretados empíricamente en dominios empíricos concretos: en tal caso las inexactitudes aparecerán siempre, precisamente por la diferencia epistemológica entre modelos matemáticos y sistemas empíricos. Por otra parte, lo esencial de las teorías no es ya su expresión lingüística, que por supuesto la hay, sino las clases de modelos que definen diversas componentes de su núcleo. Por lo mismo, las leyes científicas pasan obligadamente por la mediación de dichas modelizaciones, antes de ser aplicadas e interpretadas como verdaderas o falsas en algún ámbito empírico. La concepción semántica no hace uso de las técnicas conjuntistas propias de los estructuralistas, prefiriendo la noción de espacio de estados para reconstruir las teorías y las leyes; pero sí coincide con la concepción estructural en cuanto a la conveniencia de estudiar el concepto de ley científica en base a la noción de modelo, en lugar de los enunciados y los sistemas formales usados por Hempel y por los defensores de la concepción heredada [4].

Tal y como veremos en el apartado V, este giro permite emprender el análisis de teorías que ya no proceden exclusivamente de la física, como ha sido frecuente en buena parte de los filósofos de la ciencia del siglo XX. Por lo mismo, permite hablar de un concepto de *ley científica*, y ya no sólo de *ley física*, como ocurría en el caso del modelo nomológico-deductivo. Ello no significa que las dificultades para la reconstrucción de dicho concepto hayan desaparecido, tal y como tendremos ocasión de

4. Para una exposición más detallada de todo este cambio en la metateoría científica puede verse Echeverría (1989, c. 6).

comprobar. Sin embargo, a partir de los años setenta, y en buena medida gracias a la influencia de los críticos de la concepción heredada (Toulmin, Hanson, Putnam, pero sobre todo Kuhn y Lakatos), puede decirse que la nueva filosofía de la ciencia ha dejado de lado el modelo nomológico-deductivo y ha propuesto nuevas técnicas y nuevas ideas que pueden ser aplicables a la delimitación del concepto de ley en las ciencias.

IV. ALGUNAS CONCEPCIONES CLASICAS SOBRE LAS LEYES CIENTIFICAS

Tal y como se indicó en la Introducción, en la fase de emergencia de la ciencia moderna no se hablaba de leyes, sino más bien de principios; en buena medida porque la concepción aristotélica de la ciencia seguía teniendo un peso importante. La ciencia era búsqueda de las causas, y cada ciencia debía tener sus propias causas últimas, o primeros principios, cuya fundamentación era remitida, a su vez, a la metafísica o a la teología. La aparición del concepto de *ley natural*, ampliamente desarrollado por Hobbes y por Locke[5], por ejemplo, en el ámbito de las cuestiones morales, influyó sin duda en la progresiva introducción de una terminología nomológica en la reflexión sobre la ciencia, que fue reemplazando la clásica dicotomía entre causas y efectos. Hasta llegar a la tajante afirmación de Mach, «no hay causas ni efectos en la naturaleza» (Mach, 1902, 482), un largo camino había sido recorrido, en el que la figura de Hume tuvo especial relevancia. Hume rechazó toda relación causal, reemplazándola por un orden de sucesión temporal en el que se advierten regularidades, las cuales pasan a ser objeto de la investigación científica[6].

El cambio terminológico que va de los principios de la naturaleza a las leyes de la naturaleza es particularmente significativo. Tal y como ha subrayado Meyerson, «el postulado de causalidad no se confunde de ninguna manera con el de legalidad» (1912, 19). No es lo mismo investigar las causas de los fenómenos que indagar las reglas a las que están sujetos. La existencia de principios y de causas dependerá de Dios, de la Naturaleza o de alguna entidad trascendente. Las leyes, en cambio, suelen ser humanas, demasiado humanas. Anticipamos con ello la postura que se propugnará en el último apartado del presente trabajo. Mas con el objeto de ir fijando ideas, conviene volver a citar a Meyerson (autor injustamente olvidado) a la hora de extraer las consecuencias derivadas de

5. La obra de Locke, *Questions concerning the Law of Nature* (Cornell Univ. Press 1990) ilustra la existencia de una ley natural en cada individuo, que marca la presencia en su alma del Dios legislador; idea que se remonta a los estoicos («vive de acuerdo con tu naturaleza») y en particular a Cicerón. A Hobbes *(Leviatán* I, c. XIV) se debe la distinción entre ley natural y derecho natural.

6. La teoría de las regularidades, que procede de Hume, ha sido ampliamente comentada por Molnar (1969) y por Armstrong (1983), y criticada por Kneale (1950 y 1961) y otros. Según Molnar, una regularidad humeana p es una ley si y sólo si p es una proposición cuantificada universalmente, p es verdadera (omniespacial y omnitemporalmente), p es contingente y p sólo incluye predicados empíricos no locales, aparte de las conectivas y cuantificadores lógicos.

dicho cambio conceptual, iniciado en el siglo XVII y culminado claramente en el siglo XIX:

> Al afirmar la existencia de reglas, evidentemente postulamos que son cognoscibles. Una ley de la naturaleza que ignoremos no existe, en el sentido más riguroso del término. Ciertamente, nos parece que la naturaleza está ordenada. Cada nuevo descubrimiento, cada previsión realizada nos confirman en esta opinión. Desde el momento en que la naturaleza misma parece proclamar su propia ordenación, dicha idea parece penetrar desde fuera en nuestro espíritu, sin que hayamos hecho nada más que recibirla pasivamente: la ordenación acaba por aparecérsenos como un hecho puramente empírico, y las leyes que hemos formulado como algo que pertenece a la naturaleza, como las *leyes de la naturaleza,* independientes de nuestro entendimiento. Ello equivale a olvidar que estábamos convencidos desde el principio de esa ordenación, de la existencia de esas leyes. Equivale asimismo a olvidar cómo hemos llegado a esas leyes (...). En realidad, sólo llegamos a las leyes violentando, por así decirlo, a la naturaleza, al aislar más o menos artificialmente un fenómeno del gran todo, al dejar de lado aquellas influencias que hubieran *falseado* la observación (Meyerson, 1912, 19-21).

Retomaremos este tipo de ideas en el apartado VI, aunque conviene subrayar desde ahora la tesis de Meyerson, según la cual sólo existen las leyes que son conocidas. Si aceptamos provisionalmente su modo de razonar a la hora de distinguir entre causalidad y legalidad en la ciencia, todavía más significativo ha de resultar el paso del concepto de leyes de la naturaleza al de leyes científicas. El fisicalismo y naturalismo inherentes a la terminología acuñada en el siglo XVII dejan paso a una artificialización de la ciencia (y de la propia naturaleza, claro está), que será la cuestión central abordada al final de este estudio.

Antes de llegar a ello conviene, sin embargo, que recordemos algunas de las teorizaciones clásicas en torno a las leyes de la naturaleza, para poder inferir un elenco suficiente de propiedades y características de las leyes científicas que luego pueda ser reinterpretado a partir de las nuevas posturas teóricas que ya ahora se van perfilando.

Para Descartes, y con diferentes variantes para los diversos representantes del Racionalismo del XVII, las leyes de la naturaleza son obra de Dios: a los seres humanos, y en particular a los científicos, les corresponde la tarea de descubrirlas. En *Le Monde: Traité de la Lumière*, Descartes afirma claramente:

> Dios ha establecido tan maravillosamente estas leyes que, aun cuando supongamos que no ha creado nada más que lo dicho (...) tales leyes son suficientes para lograr que las partes de este caos se desenmarañen y dispongan en tan buen orden que alcancen la forma de un mundo perfecto y en el que no sólo pueda verse la luz, sino también todas las cosas generales y particulares que aparecen en este verdadero mundo [7].

7. R. Descartes, *El Mundo: Tratado de la Luz*, v. e. de Salvio Turró, Anthropos, Barcelona, 1989, 103-105.

Otro tanto piensan Newton, Leibniz y el propio Spinoza, aunque sea bajo la especie del *Deus sive Natura* que ha seguido estando vigente, a grandes rasgos, en las diversas versiones del materialismo. El debate del siglo XVII en torno a los milagros resulta al respecto particularmente ilustrativo, pues en él se aborda el problema de las excepciones (o cabría decir mejor, anomalías) a las leyes de la naturaleza. Ya Locke subrayaba que la presencia de Dios no sólo se manifiesta en las leyes, sino también en los milagros [8]. Para Leibniz hay tres tipos de leyes o principios: el más general es el principio de identidad y no contradicción, que regula los mundos posibles, y al cual está sujeto el propio entendimiento divino; luego vienen los principios que determinan las verdades de hecho, tales como el de óptimo, razón suficiente, continuidad y máxima determinación. Por último, hasta los propios individuos están regulados por sus propias leyes o principios, que les constituyen como tales individuos, pero que en realidad son variantes o perspectivas de los anteriores principios generales, producto de la voluntad divina. Los milagros pueden parecer alterar estos principios individuales, o incluso leyes más generales de la naturaleza, pero siempre están regulados por leyes todavía más fundamentales, tales como el principio de óptimo, que determina la existencia, entre todos los mundos sujetos a reglas, del mejor de los mundos posibles, es decir el mejor regulado de todos ellos. La pluralidad de leyes posibles en la naturaleza, y el hecho de que rijan unas más bien que otras, depende para Leibniz de leyes o principios superiores, sin cuya intelección difícilmente podemos acceder a un conocimiento cabal de lo que es el mundo.

Este mismo tipo de preconcepción con respecto a las leyes de la naturaleza podría ser ejemplificada, con matices y diferencias, pero sin desgajarse del tronco común, en cualquiera de los grandes pensadores que dieron origen a la ciencia moderna. El concepto de ley, por consiguiente, ha estado marcado en el pensamiento científico por una impronta teológica, sea en su variante teísta o ateísta; sólo a finales del siglo XIX, y en algunos escasos autores, comienza a atisbarse un nuevo tipo de fundamentación de las leyes de la naturaleza. Para ello fue esencial la crítica humeana al principio de causalidad, pero también la reinterpretación del mismo en términos del principio de legalidad que rige la investigación científica, y que podemos ver claramente formulado por Helmholtz:

> Lo primero que tengo por claro, es que el principio de causalidad no es otra cosa que la suposición de la legalidad de todos los fenómenos naturales (Helmholtz, 1882, 68).

8. Con respecto a la regulación de la naturaleza, Locke asevera que Dios «ha ordenado a los cielos girar en revolución perpetua, a la Tierra permanecer en su lugar, a las estrellas brillar, ha fijado límites incluso al mar tumultuoso, ha prescrito a todo tipo de planta el modo y la estación para su germinación y su crecimiento» (Locke, 1990, 95).

En este sentido, el fisicalismo del Círculo de Viena, aunque aparentemente desprovisto de connotaciones metafísicas y teológicas, resultó claramente regresivo con respecto a la progresiva asunción en las distintas disciplinas científicas del principio de legalidad, que remite la construcción de la ciencia y sus propiedades estructurales a la propia responsabilidad de los científicos, sin delegarla en entidades trascendentes. La suposición de legalidad de todos los fenómenos de la naturaleza, formulada claramente por Helmholtz, se ha ido ampliando a los fenómenos sociales, a los fenómenos económicos e, incluso, a los fenómenos individuales. No pudiéndose explicar este tipo de ciencias en base a ley alguna de la naturaleza (salvo en periclitadas tendencias fisicalizadoras), la noción de *leyes científicas*, con toda su pluralidad y complejidad, ha ido reemplazando ventajosamente a la noción clásica de leyes de la naturaleza.

Georges Boole, por ejemplo, investiga directamente las *leyes del pensamiento*, cuya delimitación es el principal objetivo de la Lógica. Desde el principio de su obra básica, Boole enuncia como programa la investigación (empírica, por cierto) de las leyes que rigen el pensamiento humano:

> El designio del tratado que sigue consiste en investigar las leyes fundamentales de aquellas operaciones de la mente mediante las cuales se conforma el razonamiento; dar expresión de las mismas en el lenguaje simbólico del cálculo, y a partir de esta fundamentación, establecer la ciencia de la Lógica y construir su método (Boole, 1854, 1).

Puesto que los números y el lenguaje son los dos principales instrumentos del razonamiento científico, Boole va a estudiar las leyes que rigen el uso de ambos, tanto cuando dichas leyes son comunes al lenguaje y al álgebra como cuando difieran. Si alguien dudara de que existen tales leyes, Boole no entraría en discusión con él: bastaría con remitir al objetor a la evidencia de que existen tales leyes, poniendo a la ciencia como prueba de ello (Boole, 1854, 3). Como puede verse, la propia presencia de la ciencia, en tanto hecho empírico, permite inferir leyes más generales y abstractas que las vigentes en la física, sin romper por ello con las reglas del más riguroso empirismo:

> Como todas las demás ciencias, la de las operaciones intelectuales debe basarse en primer lugar en la observación, siendo el objeto de dicha observación las auténticas operaciones y procesos cuyas leyes deseamos determinar (Boole, 1854, 3).

Sin embargo, el propio Boole admite que hay algunas diferencias entre la investigación empírica aplicada a la naturaleza y la que él pretende iniciar con respecto a la mente. La explicación que proporciona de dichas diferencias es particularmente ilustrativa:

> Las leyes generales de la Naturaleza no son, en su gran mayoría, objetos inmediatos de percepción. Son, o bien inferencias inductivas a partir de un gran número de hechos, cuya verdad común ellas expresan, o bien, al menos en su origen, hipótesis fí-

sicas de naturaleza causal que sirven para explicar fenómenos con precisión constante, y que nos capacitan para predecir nuevas combinaciones de fenómenos. En todos los casos son, en el sentido más estricto del término, conclusiones *probables*, que por tanto se aproximan cada vez más a la certeza, conforme reciben más y más confirmación de la experiencia (Boole, 1854, 4).

Como puede verse, buena parte de los tópicos anteriormente mencionados entre los filósofos del siglo XX aparecen claramente mencionados en este pasaje de Boole. Lo interesante, sin embargo, estriba en que esta caracterización booleana de las leyes de la naturaleza ha sido propuesta precisamente para contraponerlas a las leyes del pensamiento, que son el objetivo de su investigación. Por eso afirma inmediatamente después:

El conocimiento de las leyes de la mente no requiere como base ninguna colección extensa de observaciones. La verdad general se aprecia en la instancia particular, y no queda confirmada por la repetición de instancias (...); la percepción de este tipo de verdades generales no se deriva por inducción a partir de muchos ejemplos, sino que queda envuelta en la aprehensión clara de una instancia singular (Boole, 1854, 4).

Para buscar las leyes del pensamiento hay que proceder empíricamente pero, al igual que en el método de análisis y síntesis de los geómetras griegos, lo esencial es la búsqueda de la instancia adecuada, es decir del ejemplo concreto de funcionamiento de nuestra mente en el cual se ejemplifique una ley general. Logrado esto, no hace falta proseguir con nuevos ejemplos. Cada instancia convenientemente seleccionada tiene un valor universal, como lo tenían las figuras auxiliares de la geometría griega o como lo tiene un algoritmo matemático concreto. Ello no impide que unos ejemplos o instancias puedan ser preferibles a otros, por ser más claros, como dice Boole. Puesto que la lógica siempre trabaja por medio de símbolos (sean éstos palabras, fórmulas o encadenamientos proposicionales), Boole conectará su estudio con las investigaciones realizadas previamente respecto a las leyes generales de los signos algebraicos, encontrando que muchas de ellas son válidas como leyes del pensamiento. También es posible descubrir leyes especiales que rigen el funcionamiento lingüístico de nuestra mente, como la ley de idempotencia, válida para el pensamiento humano basado en el lenguaje, pero no para el basado en signos matemáticos (salvo para los números 0 y 1, que precisamente por ello pasarán a desempeñar un papel particularmente relevante en las teorías booleanas). Por supuesto, «las leyes últimas de la lógica son matemáticas en su forma» (Boole, 1854, 11), si bien hay que señalar también que Boole sigue ligado a la idea del descubrimiento de leyes, más que al *Ars Inveniendi*:

Conviene recordar que la tarea de la ciencia no consiste en crear leyes, sino en descubrirlas; no originamos la constitución de nuestra propias mentes, por mucho que pueda estar a nuestro alcance modificar sus características (Boole, 1854, 11).

Un programa similar con respecto a las ciencias sociales es concebido por Boole como asimismo factible, en base a las regularidades que se perciben en los fenómenos de masas. Su propia investigación en torno a la lógica la concibe como parte de una más amplia sobre las leyes de los signos. Las leyes del pensamiento que propone finalmente Boole son, como es sabido, lo que hoy en día llamamos propiedades conmutativa, asociativa, distributiva, idempotente, etc.

Esta prolongada mención a Boole tiene particular sentido dentro del objetivo del presente trabajo: además de traer a colación temas ya casi olvidados en torno a las leyes de la lógica y a su investigación empírica en base a instancias determinadas, y aparte de recordar algunas definiciones clásicas del concepto de ley científica, con sus consiguientes propiedades, se trata sobre todo de mantener que un adecuado concepto de ley científica no debe de ser dependiente del concepto de ley física, y ni siquiera estar centrado en él. Las concepciones semántica y estructural en filosofía de la ciencia, caso de ser válidas, habrán de mostrar su aplicabilidad a la reconstrucción de teorizaciones de la mente y del pensamiento como la propuesta por Boole, tan alejada de toda influencia kantiana. Caben diferentes modelizaciones matemáticas del funcionamiento de la mente humana (la computacional, actualmente vigente, sería una de ellas, como lo fue la asociacionista o lo ha sido la neurofisiológica), tal y como ésta se muestra en nuestro uso del lenguaje, de los números y en general de los signos. No hay que olvidar que, a partir de dicha teorización, Boole pudo pretender haber derivado a partir de su ley de idempotencia ni más ni menos que el principio aristotélico de no contradicción, que pasa a ser una ley derivada dentro de la teoría booleana del pensamiento.

Vemos por tanto que la noción de ley científica no se agota en la noción, históricamente anterior, de ley o leyes de la naturaleza. Incluso la deducción y la inducción pueden haber sido teorizadas de maneras muy diferentes a lo largo de la historia, infiriéndose distintas leyes de la deducción (o de la inducción: la inducción matemática es un buen ejemplo). Un reduccionismo logicista presenta las mismas dificultades que el fisicalismo antes criticado, al menos en lo que respecta al concepto de ley científica.

Otro autor clásico que conviene traer a colación, de entre los muchos que podrían ser seleccionados, es Peirce. En su artículo «The Doctrine of necessity examined» (1940, 324-338), Peirce se propuso examinar «la creencia común de que todo hecho singular del universo es determinado precisamente por leyes», cuyo origen remite al propio Demócrito. Concretando el tema de su indagación, acabó centrándose en la creencia en el determinismo de las leyes mecánicas, al cual contrapondrá sus tesis sinecistas:

La proposición en cuestión es que el estado de las cosas existentes en un momento dado, conjuntamente con ciertas leyes inmutables, determinan completamente el es-

> tado de las cosas en cualquier otro momento (ya que una limitación al tiempo *futuro* no es defendible). Por tanto, dado el estado del universo en la nebulosa original, y dadas las leyes de la mecánica, una mente suficientemente poderosa podría deducir de dichos datos la forma precisa de cualquier rasgo de cualquier carta que esté escribiendo ahora (Peirce, 1940, 325).

Es sabido que Peirce se proponía atacar la noción de determinismo, insistiendo en la importancia de lo que hoy en día se llaman condiciones

timos años [10]. Para nuestro objeto, tampoco se trata de privilegiar ahora la teoría de la evolución, como antes ocurrió con la mecánica newtoniana, y definir el concepto de ley científica en base a dicho modelo biologicista y evolucionista. Sí es importante, en cambio, subrayar la existencia, entre los clásicos de la teoría de la ciencia, de concepciones que difícilmente son armonizables con el modelo nomológico-deductivo de explicación científica, ni por supuesto con el concepto positivista de ley

En la primera fase del desarrollo del positivismo lógico, no había duda de que todas las ciencias positivas, incluidas la sociología y la psicología, formaban potencialmente parte de una ciencia unificada que se trataba de crear por reducción de las diversas teorías y enunciados científicos a lenguaje fisicalista. Tal es el proyecto del Círculo de Viena, desarrollado en la primera etapa de la revista *Erkenntnis* y posteriormente en la *International Enciclopedia of the Unified Science*. El conductismo naciente proporcionaba una vía concreta de investigación para llevar adelante dicho proyecto. En lo que respecta a las leyes científicas, tampoco había duda de que las ciencias sociales habrían de adecuarse al modelo de cientificidad de la física. Lundberg, por ejemplo, afirmó que «el término *ley científica* puede y debería significar en las ciencias sociales exactamente lo que significa en cualquiera de las restantes ciencias» (Lundberg, 1938, 189). Precisando el concepto de ley científica, Lundberg lo define así:

> Una ley es: 1) un grupo de símbolos verbales o matemáticos que, 2) designan un número ilimitado de eventos definidos en términos de un número limitado de reacciones, 3) de tal manera que la realización de las operaciones especificadas siempre conlleve resultados predecibles dentro de límites mensurables *(Ibid.)*.

Explicando dicha definición, Lundberg precisa que la condición: (1) se refiere a enunciados generales sobre alguna secuencia conductual, que (2) requiere que dichas generalizaciones deben de ser verificables y verdaderas, mientras que (3) admite la existencia de grados de verificación. Tras reconocer que la mayoría de las generalizaciones usadas en las ciencias sociales sólo satisfacen el primer requisito, el programa de reducción fisicalista de las ciencias sociales es propuesto:

> Todos los fenómenos humanos y culturales están enteramente contenidos en el cosmos físico y dependen enteramente de transformaciones de energía dentro del cosmos (*Ibid.*, 192).

Nociones como «sentimientos», «querer», «objetivo», «motivos», «valores», etc., son para Lundberg «el flogisto de las ciencias sociales» *(Ibid.*, 193-194). El objetivo de las ciencias sociales consiste en controlar y medir los factores que influyen en la conducta social. Y concluye:

> Sólo cuando dichas condiciones son conocidas y medidas tenemos una ley científica tal y como aquí está definida *(Ibid.*, 196).

Siendo la posición de Lundberg un tanto extremada, no resultaba ni mucho menos inusual en la época de emergencia del positivismo lógico. Aunque no había leyes en las ciencias sociales que respondiesen al modelo propuesto, había que empezar a proceder conforme a los métodos nuevos: a base de medir y de experimentar, las leyes acabarían surgiendo, como había sucedido en las ciencias naturales. Y no cabe duda de que, al

menos en este punto, Lundberg tenía razón. En apoyo de sus propuestas citaba un pasaje de Moore que resulta particularmente ilustrativo para el objeto del presente trabajo:

> Los problemas de la ciencia natural requirieron la invención de un cálculo de fenómenos masivos que probablemente obtendrá sus mejores resultados cuando se aplique al material de las ciencias sociales[11].

Nos limitaremos a subrayar el término «invención». Cuando se enuncia un programa de investigación científica, aunque éste pueda parecer aberrante desde determinadas perspectivas, es muy raro que no se obtengan algún tipo de resultados en el sentido previsto. Si hay que descubrir leyes en las ciencias humanas que sean análogas a las previamente halladas en las ciencias naturales, basta con introducir instrumentos de observación y de cálculo para que, de una u otra manera, surjan regularidades observables, y en último término enunciados nómicos. El desarrollo histórico del conductismo en psicología y en sociología es un ejemplo, entre muchos, de este tipo de tesis, que será expuesta más ampliamente en la fase final de este trabajo.

La filosofía analítica de la ciencia que, tras las críticas de Popper y la dispersión del Círculo de Viena, imperó en los países anglosajones a partir de la Segunda Guerra Mundial, mantuvo posturas mucho más matizadas y complejas en torno a la cientificidad de las ciencias no-naturales. La formulación del modelo nomológico-deductivo de explicación científica, en concreto, suscitó una amplia controversia sobre su aplicabilidad en el caso de las ciencias sociales, encontrando defensores y detractores que condujeron el debate hacia una mayor profundización del problema.

Si consideramos, por ejemplo, la historia, no es claro que la explicación de un acontecimiento histórico tenga que recurrir a leyes, y ni siquiera a causas determinantes de dicho evento. William Dray dedicó una obra a este problema, en la que, además de exponer su propia postura, sintetizó adecuadamente los términos en los que se planteó el debate (Dray, 1957), en el cual participaron Hempel, White, Gardiner, Collingwood y otros muchos. La tesis de Dray consiste en afirmar la inadecuación del modelo hempeliano para la explicación de los hechos históricos, ni aunque fuera en el supuesto de que el recurso a leyes explicativas fuese únicamente implícito, como sugirió Popper. La propia noción de *explicación* es para Dray un concepto pragmático, que no puede ser caracterizado simplemente en base a propiedades lógico-sintácticas: por eso propuso el concepto de *explicación racional* como el adecuado para el caso de la historia. Dicho tipo de explicación siempre tiene en cuenta la intencionalidad de las acciones humanas, que implica la necesidad de una comprensión por parte del historiador del sentido de cada hecho histó-

11. Henry L. Moore, *Laws of Wages*, pp. 4-5, citado por Lundberg, 1938, 202.

rico. Toda la tradición hermenéutica ha insistido y ampliado este punto (Gadamer, 1977).

No vamos a incidir aquí en esta amplia polémica, sino que nos limitaremos a señalar una característica particularmente clara de los estudios e investigaciones históricas: su capacidad para reconstruir la historia en base a nuevas teorías e interpretaciones. La propia selección de los hechos relevantes es altamente modificable, como puede comprobarse en los diferentes libros de texto usados en los diversos países para introducir a los estudiantes en los estudios históricos. La «realidad histórica» se revela como maleable y determinable por la comunidad de historiadores, en base a influencias políticas, religiosas, nacionalistas, económicas, etc. En este punto, por cierto, la historia difiere muy poco de las ciencias naturales más «duras».

La noción de explicación racional ha sido sistematizada ulteriormente por von Wright, para quien la historia, al igual que otras muchas ciencias sociales y humanas, versa sobre *acciones*, ineludiblemente intencionales. El análisis del *explanandum* debe de ser llevado a cabo conforme a reglas diferentes, basadas en una lógica de la acción, y más concretamente en los silogismos prácticos [12]. Un ejemplo típico de dicho silogismo sería el siguiente:

> *A* se propone dar lugar a *p*.
> *A* considera que no puede dar lugar a *p* a menos de hacer *a*.
> Por consiguiente, *A* se dispone a hacer *a* (Von Wright, 1971, 126).

Sobre la base de este esquema es posible explicar la racionalidad de las acciones humanas; sin embargo, no resulta claro, ni mucho menos, que este tipo de racionalidad involucre algún tipo de ley científica que la sustente. A lo sumo, cabe hablar de una explicación teleológica, en base al logro de los objetivos propuestos.

Desde otro ámbito de las ciencias sociales, la antropología, ha surgido un nuevo modelo explicativo, basado en la noción de explicación funcional (también usada en biología). En su *Scientific Theory of Culture and Other Essays*, Malinowski propuso denominar «funcionales» a las relaciones entre las necesidades humanas (principio regulador de todas las acciones) y las formas culturales que se desarrollan para satisfacerlas:

> La función no puede ser definida de ninguna otra manera más que por la satisfacción de una necesidad mediante una actividad en la que cooperan seres humanos, usan artefactos y consumen bienes (B. Malinowski, 1944, 38).

Para lograr objetivos de cualquier tipo, y por tanto por razones puramente funcionales, los seres humanos tienden a organizarse. El concepto explicativo fundamental pasa a ser el de *organización*, debido a la

12. Véase Von Wright (1971), así como el libro editado por Manninen y Tuomela (1980).

radical dependencia de los individuos respecto de los grupos a los que pertenecen. La noción de institución, y las leyes que la regulan (caso de haberlas), sería la base de toda explicación racional de las acciones humanas. Y una institución, según Malinowski, tiene seis componentes: su estatuto fundacional (o propósito), su personal, sus normas, su aparataje material, sus actividades y su función. Malinowski concluye:

> Hemos introducido por último el concepto de función, esto es, el *resultado integral* de las actividades organizadas, en tanto se distingue de lo estipulado, es decir, del propósito, del objetivo clásico o renovado que debe ser obtenido (B. Malinowski, 1939, 943).

Es claro que la explicación funcionalista dista mucho del modelo nomológico-deductivo, al basar todos sus conceptos explicativos en aspectos pragmáticos. Difícilmente cabe hablar de leyes de la naturaleza, o concepto similar, a la hora de explicar acciones institucionales. Si hemos traído a colación esta teorización, entre otras muchas que podrían haber sido mencionadas, ello se debe a su aplicabilidad a la propia actividad científica: así podemos hacer más rápidamente la transición al apartado final del presente trabajo. Tal y como se comprobó en los apartados I y II, buena parte de las críticas al modelo deductivo-nomológico se basaban en que el concepto de ley científica es básicamente pragmático, aunque luego pueda tener una determinada forma lógico-sintáctica. El uso mismo del término «ley» así lo sugiere. Lejos de intentar aplicar forzadamente el modelo nomológico-deductivo a las ciencias sociales, propondremos a continuación un cambio de perspectiva, analizando las mal llamadas ciencias naturales en términos de acciones humanas, e insertando el concepto de ley científica en dicho marco.

VI. LAS LEYES CIENTIFICAS COMO NORMAS DE ACCION

La ciencia moderna no cifró sus objetivos en un mejor conocimiento de la naturaleza: desde su nacimiento difirió de la ciencia griega por su voluntad de transformación y progreso. Hasta tal punto ello ha sido un rasgo distintivo de la actividad científica que Lakatos llegó a afirmar que «el carácter empírico (o científico) y el progreso teórico están inseparablemente relacionados» (Lakatos, 1978; v. e., 1983, 54). Cabría añadir que, sobre todo en la ciencia contemporánea, numerosos progresos teóricos conllevan con frecuencia la aparición de nuevos artefactos tecnológicos que modifican las condiciones de la vida social y personal, pero también el propio entorno natural y mental. El prestigio de la ciencia y de la tecnología radica precisamente en esta capacidad inventiva y transformadora, la cual, aun siendo conocida desde los tiempos de Arquímedes, en particular por sus aplicaciones a la industria militar, en el siglo XX ha ido ampliándose a los más diversos ámbitos de la actividad humana.

Las teorías científicas son artificiales por su origen, como ya se ha argumentado anteriormente, pero sobre todo lo son por sus efectos en la vida humana. En la época de la biotecnología y de la difusión a nivel mundial a través de los medios de comunicación ya no se pueden mantener concepciones ingenuas en torno a la caracterización de la actividad científica, sobre todo cuando el impacto económico de la investigación científica es muy considerable, sin mencionar su influencia ideológica y política.

La ciencia es ante todo acción, y acción social, y acción social transformadora de la realidad previamente existente, incluidas las concepciones previas sobre la realidad. Fuertemente institucionalizada, y convertidas las organizaciones científicas en empresas productivas con estrictas estructuras de gestión, *marketing* y competitividad, ya no tiene sentido seguir mencionando las leyes de Newton y la mecánica determinista como el paradigma científico por excelencia. Lo podrá ser, hoy en día, la biotecnología, o las ciencias de la información, o simplemente la medicina: ni la explicación pitagórica de algunos fenómenos musicales ni la predicción newtoniana del cometa Halley pueden ser tomados ya como los casos a estudiar para abordar la cuestión de la explicación científica. La transformación de la ciencia y de las teorías científicas comporta un cambio de las propias leyes científicas, que no son invariantes transtemporales.

En este sentido, la concepción estructural ha dado un paso importante, propuesto inicialmente por Moulines y aceptado por Balzer, Sneed y restantes defensores de las reconstrucciones modelo-teóricas en base al predicado conjuntista: ha incluido dentro de la estructura de las teorías a la propia comunidad científica, y por consiguiente una componente pragmática que resulta indispensable para cualquier reflexión sobre la ciencia (Moulines, 1982, 108-116; Balzer, Moulines, Sneed, 1987). Con ello se responde desde la tradición empirista, y aunque sea muy tímidamente, al revulsivo kuhniano. Desde un punto de vista interno a la concepción estructural, la inclusión de aspectos pragmáticos en la propia estructura de la teoría (y por tanto al mismo nivel que los modelos, las ligaduras y las aplicaciones propuestas) plantea no pocos problemas, y por otra parte no pasa de ser un *desideratum*. En efecto, las sutiles técnicas de reconstrucción y análisis del problema de los términos teóricos y observacionales, por ejemplo, no tienen nada análogo a la hora de analizar la nueva componente estructural, a la que simplemente se denomina CC (comunidad científica). Nada se dice de su tipología, de sus componentes formales, de sus «ligaduras» y «vínculos» con otras comunidades, tanto científicas como no científicas. Pese a este tipo de insuficiencias (y otras muchas que se podrían mencionar), la aceptación «en principio» de esta nueva componente estructural conlleva un paso importante dentro de la tradición de la filosofía analítica de la ciencia. Por extraer una sencilla consecuencia, que será ampliamente desarrollada en lo que sigue, *no hay leyes científicas sin comunidad* (y cabría añadir, sin institución) *científica que las acepte y difunda como tales*. Sólo en virtud de este

punto, el modelo nomológico-deductivo cambia profundamente, y con él el concepto mismo de ley científica, sin que valgan tampoco interpretaciones mentalistas de la actividad científica. Dado que los defensores de la concepción estructural también aceptan el concepto de *intervalo histórico* como otra componente estructural del núcleo de las teorías, una segunda consecuencia es clara: toda ley científica tiene un ámbito limitado de aplicación en el tiempo. Por supuesto, dicho intervalo (como la propia comunidad científica) sólo es determinable empíricamente, en función del desarrollo histórico de las teorías. Con ello se da un tercer paso, no menos importante: la propia historia de las teorías resulta ser una componente estructural de las mismas.

La concepción estructural no ha extraído todavía estas consecuencias, acaso porque suponen una ruptura radical con la tradición de la que proceden sus defensores, o quizás también por la propia dificultad de reconstruir estas nuevas nociones metateóricas. De hecho, al hablar del concepto de ley científica, Balzer, Moulines y Sneed permanecen en una perspectiva básicamente sintáctica, aunque con implementaciones semánticas derivadas de las clases de modelos y aplicaciones propuestas y con una aceptación programática del carácter histórico del concepto mismo de ley:

> La noción de ley es una noción de tipo fuertemente dependiente de la historia y de las disciplinas (...). No entraremos en una discusión sobre la lista mínima de condiciones necesarias que debería ser adoptada para las leyes científicas. Sin embargo, en el caso de las teorías empíricas desarrolladas querríamos proponer una condición adicional para las leyes científicas fundamentales, que no parece haber sido considerada en la literatura. Si la teoría en cuestión posee más de una relación básica, una fórmula será considerada como ley en el marco de esta teoría si establece una conexión no trivial entre distintos términos no básicos (...). Las teorías empíricas desarrolladas contienen muchos términos no básicos y sus leyes fundamentales expresan conexiones entre ellos (Balzer, Moulines y Sneed, 1987, 15-16).

Como puede observarse, se afirma la historicidad del concepto de ley, pero obviamente se caracteriza cada teoría (o elemento teórico) por sus leyes fundamentales, que sólo cambian cuando cambia la teoría. Por consiguiente, la aceptación de determinadas leyes es una característica de cada comunidad científica, sin que se vaya más allá en el estudio del aspecto sociológico de las leyes científicas.

Nuestra propuesta difiere en buena medida de lo que parece desprenderse de las tesis estructuralistas, pero mucho más de otras alternativas, y en concreto de las que tratan de circunscribir la problemática filosófica que suscita la ciencia actual a estudios de las representaciones mentales que los individuos puedan tener de las teorías. Si se adopta el punto de vista representacional en teoría de la ciencia, siempre hay que tener en cuenta que las representaciones científicas son *artefactos sociales*, o por decirlo con mayor precisión, *sistemas de signos*. Las leyes científicas, aparte de su aspecto predictivo y explicativo, desempeñan una función institucional y sociológica particularmente importante: regulan el modo de percibir los fenómenos por parte de los miembros de una comunidad científica (y si ésta es poderosa, también el modo de percepción social de dichos fenómenos) y asimismo normativizan lo que debe ser la acción científica, tanto si ésta es investigadora como si es difusora, polemizadora o docente.

La legislación científica no requiere creyentes, punto éste en el que diferimos de numerosos análisis de las actitudes epistémicas de los científicos. En el seno de una comunidad científica podrá haber creyentes; pero también escépticos, agnósticos, o simplemente descreídos. Lo que se exige es que se guarden las formas y que se investigue y enseñe como si se creyese en la veracidad de las leyes y en la utilidad de los métodos, técnicas y procedimientos que son inherentes a dicha teoría. Un cierto grado de asistencia y de presencia pública en las asambleas comunitarias (que pueden celebrarse perfectamente a través del correo electrónico o de las revistas especializadas) es también requerido. Ser miembro de una comunidad científica supone ventajas, pero también obligaciones y responsabilidades; de lo contrario no se participa en el reparto de beneficios.

Desde esta perspectiva, las leyes científicas resultan ser muy parecidas a cualquier otro tipo de leyes socialmente vigentes: su aceptación, explícita o implícita, supone la integración en un grupo, en una serie de instituciones. Los miembros más activos de la comunidad se esforzarán en desarrollar dichas leyes, en mejorar su formulación, en establecer interrelaciones con otras comunidades al objeto de interactuar y progresar conjuntamente, o simplemente en aumentar el prestigio de las teorías científicas propugnadas; pero la gran mayoría podrá considerarlas como un simple *modus vivendi*, como algo que hay que aceptar (y enseñar, y publicar al respecto) para poder ser parte integrante de la sociedad científica y acceder a los beneficios que ello supone. No hay que olvidar que las teorías científicas sólo son asumidas por una minoría de los seres humanos y que sus conceptos e instrumentos son accesibles exclusivamente a unos pocos, sin que sirva decir (desde un punto de vista empirista que asuma la componente pragmática de las teorías) que potencialmente son accesibles a todo el mundo. Si se adoptaran estas posturas, las teorías científicas pasarían a ser una componente de la cultura de una sociedad, y la ampliación de la comunidad de usuarios de la teoría estaría determinada por las estrategias de difusión cultural; siendo así que la divulgación científica sólo permite acceder a una expresión simplificada, y muchas veces deformante, de la estructura sintáctica y semántica de las teorías.

Estos aspectos prácticos de la actividad científica suelen ser muy poco comentados por los filósofos de la ciencia, como tampoco el hecho de la estricta jerarquización de toda comunidad científica: se considera que para eso están los sociólogos de la ciencia. La epistemología se ocupa de otro tipo de relaciones pragmáticas: aplicar una teoría, predecir un hecho, generalizar una ley, resolver un *puzzle*, creer en la validez

de un experimento. Sin embargo, la función usual de las leyes científicas es normativa y reguladora, y tiene como objeto los actos de los miembros de la comunidad: los experimentos hay que llevarlos a cabo conforme a las reglas vigentes de realización de experimentos científicos, al igual que la exposición y justificación de las teorías deben de ser desarrolladas conforme a la estructura deductiva o heurística previamente diseñada en los libros de texto. Estas acciones son, con mucho, las más frecuentes en la actividad científica cotidiana. La puesta en práctica de las mismas es lo que caracteriza a los miembros de una comunidad, a veces por oposición a las acciones de la comunidad científica vecina, con la cual se puede estar en relaciones de competencia, de colaboración o incluso de estricta pugna. Salvo en este último caso, el científico debe adoptar una actitud diplomática con respecto a las leyes defendidas y propugnadas por otras comunidades científicas, otorgándoles el mismo grado de credibilidad, utilidad y veracidad que uno asigna a las leyes científicas que practica cotidianamente en su trabajo, independientemente de que la comprensión de las teorías ajenas sea mínima. Se aceptan como científicas en base a un argumento de autoridad fundado en la analogía con la comunidad científica propia.

Las teorías científicas y las leyes, sin embargo, no se agotan en los aspectos que acabamos de mencionar, con ser éstos importantes. Una ley científica no sólo prescribe cómo debemos percibir los fenómenos, o cómo debemos actuar para que emerjan dichos fenómenos (y datos), y no otros. Desde el punto de vista de la filosofía clásica de la ciencia se podría argumentar que lo esencial de las leyes es la capacidad de explicar y predecir los fenómenos mismos, sean éstos físicos, químicos o de cualquier otro tipo. No son los científicos quienes crean los fenómenos, ni mucho menos las leyes. Antes al contrario, los primeros les vienen dados, y las segundas han de ser descubiertas, como vimos que Boole afirmaba taxativamente (1854, 11).

Ante este tipo de posturas merece la pena exponer una serie de consideraciones críticas, antes de concluir negativamente en lo que respecta a su actual pertinencia.

En primer lugar, cada ser humano es enseñado a percibir, nombrar y distinguir los fenómenos: la adaptación del individuo no tiene a la naturaleza ni al mundo como referentes, sino a la sociedad. Las epistemologías naturalizadas de la ciencia, en la medida en que siguen insistiendo (como vimos en el caso de Peirce) en la adaptación del hombre al medio natural, resultan insuficientes. Aprender a percibir los fenómenos de los que se ocupa la ciencia implica un proceso largo y complicado de adiestramiento social. De hecho, son pocas las personas que adquieren una adecuada competencia en la captación científica de esos fenómenos, que implica técnicas complejas de observación y de medida, procesamiento de datos, utilización de lenguajes simbólicos y otras muchas herramientas sin las cuales el aprendiz de científico es literalmente ciego con respecto a la exactitud de las predicciones y la validez de las explicaciones.

En segundo lugar, la ciencia moderna, y en mayor grado la contemporánea, rompieron radicalmente con la tradición griega de un conocimiento científico accesible a todos los seres humanos. Sólo previa integración en una comunidad científica puede uno acceder al conocimiento de las teorías y de las leyes científicas, que son constructos complejos y, en la actualidad, altamente tecnologizados. Más frecuente es la actitud de otorgar un cierto voto de confianza a las autoridades (científicas o de otro tipo) que gestionan este tipo de empresas, como es la ciencia en la actualidad. En la mayoría de los casos, la convicción de que las leyes científicas son hasta cierto punto verdaderas proviene, o bien de un argumento de autoridad, o bien de un criterio de eficacia, a la vista de los progresos que se han derivado socialmente de la actividad científica, así como de la utilidad de los artefactos que la ciencia y la tecnología han producido.

En tercer lugar, toda predicción científica implica la utilización precisa y rigurosa de determinados sistemas de signos, por medio de los cuales no sólo se formulan las predicciones, sino que también se recogen, codifican y tratan los datos que han de ser contrastados con la predicción. Dicho de otra manera: así como la filosofía de la ciencia del siglo XX ha llegado a tener claro que nunca se contrastan un enunciado y un hecho, asimismo hay que aceptar que una modelización científica y un sistema empírico sólo pueden ser confrontados entre sí por medio de sistemas de signos específicos (y no simplemente representaciones). La intercorrespondencia entre ambos (o en el caso más frecuente, entre varios) sistemas de signos es el fundamento de toda verdad empírica, tal y como ya hemos argumentado en otro lugar (Echeverría, 1989, 241-258). Por consiguiente, todo proceso de predicción y explicación científica (e incluso de observación) está previamente determinado por una competencia semiótica suficiente en el uso de los sistemas de signos socialmente pertinentes para el problema dado. Un cierto grado de adscripción a una comunidad científica es condición necesaria para cualquier comprobación efectiva de una predicción. De lo contrario, la predicción no resultará ser falsa porque un científico *amateur* así haya creído verificarlo; simplemente se habrá equivocado al tratar de comprobarla, por insuficiente competencia o rigor en el uso de los sistemas de signos e instrumentos adecuados para dicha comprobación.

En cuarto lugar, el proceso de «descubrimiento» de una ley científica está, como mínimo, tan mediatizado como la reforma de una norma constitucional o una ley fundamental del derecho civil, procesal o penal. La nueva ley ha de ser propuesta, argumentada, publicada, sometida a debate, probado su interés y posible utilidad, internacionalizada, difundida, enseñada; y aun después de todos estos pasos, sólo se tratará de una ley provisional, sujeta a modificaciones, implementaciones y mejoras, que a veces pueden producir profundas transformaciones con respecto a su formulación y autoría iniciales, así como a los procedimientos y técnicas para su comprobación. Muchas «leyes» que han pasado por todas

estas pruebas jamás llegan a encontrar un lugar en los libros de historia de la ciencia. Por supuesto, el acto originario del descubrimiento de la ley es completamente irrelevante: lo usual es modificar radicalmente el contexto de descubrimiento antes de afrontar el duro y largo proceso que ha sido llamado contexto de justificación. La inmensa mayoría de las «leyes científicas descubiertas» perecen a lo largo de todos estos vericuetos socio-científicos, que son mucho más importantes que la experiencia inicial en el laboratorio, cara a lograr el ansiado *status* de ley. Tema muy distinto es la reconstrucción ulterior del «descubrimiento», una vez que todas esas mediaciones sociales y semióticas han sido superadas. Y lo grave es que muchos filósofos de la ciencia trabajan sólo con ese tipo de «reconstrucciones», realizadas a veces a un nivel puramente divulgativo.

En quinto lugar, bien puede inferirse como consecuencia de lo anterior aquella ontología social de la ciencia de la que hablábamos en la Introducción. La objetividad de las leyes científicas está altamente garantizada, pero no precisamente por la concordancia entre predicciones y experimentos, sino más bien por la adecuada inter-correspondencia entre los múltiples sistemas de signos que han de ser utilizados competentemente a lo largo de todo el proceso de aceptación social de la ley científica que acabamos de describir sucintamente. Paralelamente a la objetividad, todo constructo científico adquiere un alto grado de artificialidad (y si se prefiere, de sofisticación social) a lo largo de este proceso de objetivación científica. Obviamente, las ciencias más desarrolladas plantean filtros más numerosos y más complejos para la aceptación de una nueva teoría o ley; pero las reglas fundamentales del proceso de objetivación son comunes a todas las ciencias.

En sexto y último lugar (aunque no sería difícil proponer nuevos argumentos), no hay que olvidar que, sobre todo en la ciencia contemporánea, la investigación científica pasa por la mediación de un sistema de signos particularmente relevante: el económico. Si un científico (o el grupo investigador en el que está inserto) no se muestra suficientemente competente en el dominio de las reglas que determinan la aplicación de dicho sistema de signos a la ciencia, no hay posibilidad alguna de que el «descubrimiento» (aunque fuera efectivo) llegue a convertirse en una novedad científica socialmente aceptada. Numerosos directores de departamentos e institutos de investigación han de convertirse en expertos en gestión económica y de recursos humanos, dedicando la mayor parte de su tiempo a la captación de contratos de investigación o a la propaganda de los resultados obtenidos por la institución que dirigen. Numerosas revistas especializadas se convierten en plataformas publicitarias, a las cuales hay que recurrir ineludiblemente a la hora de socializar cualquier potencial descubrimiento que se hubiera producido. Por supuesto, en el caso de las grandes financiaciones o de la obtención de premios prestigiosos, hay que desarrollar toda una política empresarial en orden a lograr, por ejemplo, la obtención de un premio Nobel. En el origen de todos esos procesos eventualmente pudiera haberse producido una predicción o explicación científica de interés, desde el punto de vista de la filosofía clásica de la ciencia, pero ese resultado final es indisociable de las mediaciones anteriores que muy sucintamente hemos resumido.

Lo que Meyerson llamó *principio de legalidad* conlleva todas estas transformaciones de la actividad científica, que tiene muy poco que ver con la imagen idealizada que del descubrimiento científico transmiten historiadores, epistemólogos, divulgadores y filósofos de la ciencia. Ello resulta tanto más alarmante cuanto las proclamas de empirismo y de realismo suelen ser constantes, cuando no reiterativas. Hablar de leyes científicas, y hacerlo hoy en día, exige un tratamiento de estas cuestiones, que constituyen la esencia de la investigación científica actual.

Dicho brevemente: no hay predicción científica alguna (ni explicación de fenómenos o de enunciados generales por medio de leyes) que no pase por una previa competencia semiótica en múltiples, y muy diversos, sistemas de signos. Para predecir no basta con saber observar o con saber extraer inferencias deductivas a partir de fórmulas matemáticas: hay que saber gestionar una empresa científica, hay que saber competir con las empresas rivales, hay que saber organizar grupos de trabajo, hay que lograr equipamiento y financiación, hay que disponer de infraestructura instrumental, bibliográfica y de comunicaciones, hay que ser un experto en las ferias científicas que son los congresos y simposios, hay que ser hábil en las comisiones donde se decide qué debe ser promovido y qué no, hay que tener apoyos para que las propias publicaciones sean difundidas, comentadas y citadas, hay que implementar tecnológicamente la presentación de los propios descubrimientos de tal manera que se acredite un nivel como investigador, hay que luchar por el poder en las universidades y centros de investigación, etc., etc. Una vez cumplidas todas estas condiciones, que son necesarias para la formulación, establecimiento y aceptación de una ley científica, se podrá investigar además la forma sintáctica del razonamiento usado, sus ámbitos empíricos de aplicación y todos los demás tópicos considerados por los filósofos clásicos de la ciencia. Cumplidos y satisfechos todos los ritos de paso que cualquier institución altamente jerarquizada conlleva, podrá decirse que alguien predijo algo y podrán relatarse algunas anécdotas concomitantes al «descubrimiento»; pero el auténtico trabajo de la ciencia y la actividad de los científicos tienen muy poco que ver con el que analizan y reconstruyen los filósofos de la ciencia henchidos de realismo y de empirismo.

Una ley científica, podríamos decir como conclusión y sentencia final, es todo aquello que los científicos consideran que es una ley científica. El problema no está en definir el concepto de ley científica, sino en analizar y reconstruir este nuevo concepto metateórico: *los científicos*. No dudo de que su complejidad estructural es hoy en día, pero también probablemente en otras épocas históricas, igual o mayor que la de la propia mecánica newtoniana.

BIBLIOGRAFIA

Achinstein, P. (1970), «Inference to scientific laws», en H. Feigl y G. Maxwell (eds.), *Historical and Philosophical Perspectives of Science*, University of Minnesota Press, Minneapolis, 87-111.

Achinstein, P. (1971), *Law and Explanation*, Clarendon, Oxford.

Achinstein, P. (1983), *The Nature of Explanation*, OUP, Oxford.

Armstrong, D. M. (1983), *What is a Law of Nature?*, Cambridge University Press.

Ayer, A. J. (1956), «What is a Law of Nature?»: *Revue Internationale de Philosophie 10*.

Balzer, W., Moulines C.U. y Sneed J. D. (1987), *An Architectonics for Science*, Reidel, Dordrecht.

Boole, G. (1854), *An Investigation of the Laws of Though on which are founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*, Dover, New York, 1958 (reimpr.).

Carnap, R. (1935), «Formalwissenschaft und Realwissenschaft»: *Erkenntnis 5*, 35-36.

Danto, A. (1956); «On Explanation in History», *Philosophy of Science 23*, 15-30.

Davenport, H. W. (1977), *Peirce's evolutionary explanation of laws of nature*, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.

Dray, W. (1957), *Laws and Explanation in History*, OUP, Oxford.

Dretske, F. I. (1977), «Laws of Nature»: *Philosophy of Science 44*.

Echeverría, J. (1985), «Consideraciones sobre una Semiología de la Ciencia», *Crítica XVII, 51*, 71-96.

Echeverría, J. (1987), *Análisis de la identidad*, Granica, Barcelona.

Echeverría, J. (1989), *Introducción a la Metodología de la Ciencia*, Barcanova, Barcelona.

Feynmann, R. (1965), *The Character of Physical Law*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Gadamer, H. G. (1977), *Verdad y método*, Sígueme, Salamanca.

Giere, R. N. (1988), *Explaining Science*, University of Chicago Press.

Goldstein, L. J. (1957), «The Logic of Explanation in Malinowskian Anthropology»: *Philosophy of Science 24*, 156-166.

Goodman, N. (1974), *Fact, Fiction and Forecast*, Harvard University Press, Cambridge.

Helmholtz, H. (1882), *Über die Erhaltung der Kraft*, Leipzig.

Hempel, C. G. (1965), *Aspects of Scientific Explanation*, Free Press, New York.

Hume, D. (1888), *A Treatise on Human Nature* (ed. L.A. Selby-Bigge), Oxford.

Kitcher, Ph. y Salmon, W. C. (eds.) (1989), *Scientific Explanation*, University of Minnesota Press, Minneapolis.

Kneale, W. C. (1950), «Natural Laws and Contrary-to-Fact Conditionals»: *Analysis 10*, reimpr. en T.L. Beauchamp (ed.), *Philosophical Problems of Causation*, Dickenson, Belmont, 1974.

Kneale, W. C. (1961), «Universality and Necessity»: *British J. for the Philosophy of Science 12*, reimpr. en *Ibid*.

Kripke, S. (1972): «Naming and Necessity», en D. Davidson y G. Harmann (eds.), *Semantics of Natural Language*, Reidel, Dordrecht.

Lakatos, I. (1978): «The Methodology of Scientific Research Programs», en *Philosophical Papers*, vol. 1 (ed. por J. Whorvall y G. Currie), Cambridge University Press, v. e. Alianza, Madrid, 1983.

Lewis, D. K. (1983 y 1986), *Philosophical Papers*, 2 vols., Oxford University Press, New York.

Locke, J. (1990), *Questions concerning the law of nature* (ed. R. Horwitz *et al.*), Cornell University Press, Ithaca.

Lundberg, G. A. (1938), «The Concept of Law in the Social Science», *Philosophy of Science* V, 189-203.

Mach, E. (1902), «The Economy of Science», en *The Science of Mechanics*, ed. por Ch. Peirce, trad. Th.J. Mc Cormack, Open Court.

Mackie, J. L. (1974), *The Cement of the Universe*, OUP, Oxford.
Malinowski, B. (1939), «The Group and the Individual in Functional Analysis»: *American Journal of Sociology 44*, 938-64.
Malinowski, B. (1944), *A Scientific Theory of Culture and other Essays*, Chapel Hill.
Malinowski, B. (1948), *Magic, Science and Religion and other Essays*, Boston and Glencoe.
Manninen, J. y Tuomela, R. (eds.) (1980), *Ensayos sobre explicación y comprensión*, Alianza, Madrid.
McRae, R. (1985), «Miracles and Laws», en K. Okruhlik y J.R. Brown (eds.), *The Natural Philosophy of Leibniz*, Reidel, Dordrecht.
Meyerson, E. (1912), *Identité et Réalité*, Alcan, París, 2.ª ed.
Molnar, G. (1969), «Kneale's Argument Revisited»: *Philosophical Review*, reimpr. en T.L. Beauchamp (ed.), *Philosophical Problems of Causation*, Dickenson, Belmont, 1974.
Moulines, C. U. (1982), *Exploraciones metacientíficas*, Alianza, Madrid.
Okruhlik, K. (1985), «The Status of Scientific Laws in the Leibnizian System», en K. Okruhlik y J.R. Brown (eds.), *The Natural Philosophy of Leibniz*, Reidel, Dordrecht, 183-206.
Pap, A. (1965), «What is a Law of Nature?», en D. Shapere (ed.), *Philosophical Problems of Natural Science*, MacMillan, New York.
Peirce, Ch. S. (1940), *Philosophical Writings* (ed. J. Buchler), Dover, New York, 1955, reimpr. de Routledge & Kegan Paul.
Peirce, Ch. S. (1957), *Essays in the Philosophy of Science* (ed. V. Thomas), Liberal Arts Press, New York.
Pietarinen, J. (1972), *Lawlikeness, Analogy and Inductive Logic*, North Holland, Amsterdam.
Poincaré, H. (1902), *La science et l'hypothèse*, Alcan, París.
Popper, K. (1959), *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, Londres.
Reichenbach, H. (1947), *Elements of Symbolic Logic*, Dover, New York.
Reichenbach, H. (1951), *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley University Press.
Reichenbach, H. (1954), *Nomological Statements and Admisible Operations*, North Holland, Amsterdam.
Russell, B. (1966), *Logica y conocimiento*. V. e. de J. Muguerza, Taurus, Madrid, 1966.
Salmon, W. C. (1990), *Four Decades of Scientific Explanation*, University of Minnesota Press, Minneapolis.
Schlick, M. (1949), «Description and Explanation», en *Philosophy of Nature*, trad. A.V. Zeppelin, Philosophical Library, New York, 17-21.
Scriven, M. (1961), «The Key Property of Physical Laws: Inaccuracy», en H. Feigl y G. Maxwell (eds.), *Current Issues in the Philosophy of Science*, Holt & Rinehart, New York, 91-104.
Sheldrake, R. (1988), *The Laws of Nature as Habits: a Postmodern Basis for Science*, State University of New York Press, Albany.
Sigmund, P. E. (1982), *Natural Law in Political Thought*, University Press of America, Washington.
Suppe, Fr. (1976), «Theoretical Laws», en M. Przelecki *et al.* (eds.), *Formal Methods in the Methodology of Empirical Sciences*, Reidel, Dordrecht.
Toulmin, St. (1963), *Foresight and Understanding*, Hutchinson, London.
Van Fraassen, B. (1988), *Laws and Symmetry*, Clarendon Press, Oxford.
Von Wright, G. H. (1971), *Explanation and Understanding*, Routledge & Kegan Paul, London.
Zilsel, E. (1942), «The Genesis of the Concept of Physical Law»: *Philosophical Review 51*, 3-14.

EL METODO AXIOMATICO

Roberto Torretti

Estudiamos un tema según el *método axiomático* cuando todos los conocimientos que poseemos o que vamos adquiriendo al respecto se organizan en la forma de una teoría axiomática. Una *teoría axiomática* es un conjunto T de aseveraciones —actuales o posibles— en el cual se ha distinguido una lista A —los *axiomas* de T— con la siguiente propiedad: toda aseveración perteneciente a T es una consecuencia lógica de una o más de las aseveraciones de A y toda consecuencia lógica de aseveraciones de A pertenece a T.

El método axiomático ha prestado grandes servicios en las disciplinas matemáticas, en la medida en que ellas se interesan por la determinación precisa de conceptos abstractos ya ideados y la investigación de sus implicaciones, sin atender a su realización concreta. Es menos útil en las ciencias empíricas, cuya tarea primordial consiste justamente en inventar los conceptos que unifiquen, deslinden y hagan inteligible a cada familia de fenómenos. Sin embargo, también en estas ciencias el método axiomático sirve para establecer exactamente las consecuencias de un concepto propuesto para entender ciertos fenómenos, ayudando así a juzgar la idoneidad del mismo mediante la contrastación de dichas consecuencias con la experiencia. Como es obvio, el método axiomático debe evitarse en aquellos campos de estudio en que la precisión conceptual es imposible o contraproducente.

I. LA PALABRA «AXIOMA»

La palabra «axioma» trascribe a nuestro alfabeto el sustantivo griego ἀξίωμα, derivado del verbo ἀξιόω. Este último significa primariamente «estimar digno (de premio o castigo)»; secundariamente «estimar apropiado», y también «estimar que» en el sentido de «opinar que, creer que». A tono con la primera acepción del verbo, el sustantivo ἀξίμα significa «dignidad, honor»; a tono con la segunda, significa «lo que se estima apropiado: decisión, decreto» (Sóf., *Ed. en Col.*, 1452; Dem., *De Cor.*, 210). Pero en prosa ática ἀξιόω puede significar «yo reclamo, exijo» (cf. Jen., *Memor.* 3.11.12 y, sobre todo, Tuc. 6.47, donde ἀξιόω se usa patentemente como sinónimo de αἰτέομαι, el verbo correspondiente a αἴτημα, «exigencia, postulado»). En sus primeros escritos, Aristóteles llama ἀξίωμα a cualquier aseveración que se adopta como premisa de un razonamiento (*Top.* 156a23, 159a4, *De soph. elench.* 179b14), pero en sus *Analíticos Posteriores* ἀξίωμα es una aseveración que enuncia uno de los principios evidentes de una ciencia (72a17, 75a41, 76b14).

II. ARISTOTELES Y EUCLIDES

La práctica de argumentar a partir de premisas que se pedía al interlocutor que concediera, aunque fuese sólo para los efectos de la discusión, estaba al parecer bien establecida en la matemática griega a comienzos del siglo IV a.C. Tales premisas indemostradas se solían llamar «axiomas», «hipótesis» (*hypotheseis,* literalmente: «supuestos») o «postulados» (αἰτήματα: «demandas»). Platón (*Rep.* 510b, 511d) se refiere desdeñosamente a esta práctica, contrastándola con la búsqueda filosófica de un principio incuestionable y no hipotético que definitivamente *dé razón* de lo que se pretende derivar de él. Una generación más tarde, Aristóteles no piensa ya que haya un principio único, común a todas las ramas del saber, pero insiste en que toda ciencia debe edificarse sobre principios —comunes o propios— que se acreditan por sí solos (*Top.* 100b18) y por eso no requieren demostración. Sólo así se justifica la *confianza inalterable* que un saber científico digno de ese nombre tiene que merecer (*Anal. Post.* 72b4). Para establecer una ciencia hay que descubrir primero sus principios. Completada esta etapa preliminar de búsqueda (ζήτεσις), el trabajo científico consiste únicamente en definir y deducir. Una ciencia aristotélica se expresa, pues, en aseveraciones de dos clases: (i) principios (ἀρχαί, πρῶτα) que no se demuestran, también llamados *axiomas* (ἀξιώματα, *Anal. Post.* 72a17) y (ii) *teoremas* (θεωρήματα) demostrados (ἀποδεδειγμένα) por inferencia deductiva a partir de aquellos. Dichas aseveraciones emplean dos tipos de términos (i) *primitivos* que no se definen (llamados también, algo confusamente, ἀρχαί y πρῶτα) y (ii) *derivados* (τὰ ἐκ τούτων, *Anal. Post.* 76a33), definidos mediante los primitivos.

Esta concepción aristotélica de la ciencia ha fascinado a filósofos y científicos casi hasta el día de hoy. Por mucho tiempo se creyó ver una realización ejemplar de ella en los *Elementos* de Euclides, obra de la generación que sigue a la muerte de Aristóteles. Pero están lejos de serlo, y

más bien el esquema aristotélico es el que debe verse como una idealización —filosóficamente tendenciosa— de la práctica de los geómetras del siglo IV a. C. Los *Elementos* empiezan con aseveraciones que no se demuestran y exigencias que no se justifican. Las aseveraciones —«nociones comunes» en nuestros manuscritos, «axiomas» para los comentaristas antiguos— son principios lógico-aritméticos que bien pueden pasar por evidentes; *v.gr.*: «1. Cosas iguales a la misma cosa son iguales entre sí», «2. Si a cosas iguales se agregan cosas iguales los todos [resultantes] son iguales». Pero las exigencias o «postulados», de contenido propiamente geométrico, no lo son. Por ejemplo, el Postulado II, »Prolongar una recta finita continuamente en línea recta», no puede ser satisfecho en el universo aceptado por los astrónomos hasta 1600, si la recta en cuestión es un diámetro del cielo. Tampoco el Postulado III, «Trazar un círculo con cualquier centro y radio». Ni da Euclides una lista de primitivos, sino que más bien se empeña en definir todos los términos técnicos de la geometría: «punto», «recta», «plano», no menos que «ángulo», «círculo», «paralelas». Pero algunas de sus «definiciones» —*v.gr.*: «*punto* es lo que no tiene partes»— no prestan luego ningún servicio en las demostraciones. Éstas ofrecen, sí, un ejemplo de rigor deductivo insuperado hasta el siglo XIX, pero aquí y allá contienen lagunas, esto es, pasos no autorizados por los principios, que se apoyan —sin decirlo— en lo que se puede «ver» en el diagrama concomitante. La primera laguna ocurre en la Proposición I del Libro I. Se pide «construir un triángulo equilátero sobre una base dada». Sea *AB* la base. Constrúyanse los círculos con radio *AB* y centro en *A* y en *B* (Postulado III). El tercer vértice *C* del triángulo requerido está en la intersección de esos círculos. Pero los principios enunciados explícitamente por Euclides *no implican en modo alguno* que tal intersección exista. Por otra parte, el diagrama trazado según las instrucciones sí que exhibe no sólo uno sino *dos* puntos de intersección.

III. EL METODO AXIOMATICO EN LA REVOLUCION CIENTIFICA DEL SIGLO XVII

Nadie ha manifestado una fascinación tan persistente con la idea aristotélica de ciencia como los grandes filósofos y científicos del siglo XVII, al punto de que el antiaristotelismo de que generalmente hacen gala bien puede atribuirse a su desilusión con el maestro, que en sus propias obras científicas no hace amago de practicar la metodología que predica. Suele citarse el caso de Spinoza, quien expuso «conforme al uso de los geómetras» los principios de la filosofía cartesiana (1663) y luego su propia ética (1677). Su modelo es el propio Descartes, que había esbozado una presentación axiomático-deductiva de su pensamiento en las *Respuestas a las Quintas Objeciones* (a sus *Meditaciones metafísicas,* 1641). Por su parte, Pascal, el extremista, sueña con «un método aún más eminente y consumado, el cual nunca podría ser alcanzado por los hombres», y que consistiría «en definir todos los términos y probar todas las proposiciones» (1950, 360). Pero también los más grandes adoptan el método axiomático: Galileo en el breve tratado *De motu locali* en que funda la cinemática moderna (1637; Tercera Jornada), Newton en la obra maestra en que sienta las bases de la nueva dinámica y explica, con ella, los movimientos visibles de los astros (1687). Pero estos físicos —en agudo contraste con sus contemporáneos metafísicos— no pretenden que sus axiomas sean verdades evidentes por sí mismas. Galileo confía establecer su verdad cuando se vea que las conclusiones deducidas de ellos concuerdan exactamente con la experiencia (1965, VIII, 208). También Newton ha debido pensar así, por más que dijera que no inventaba hipótesis. (Sobre la axiomática de Newton, véase Moulines, 1988.)

IV. NUEVAS GEOMETRIAS

Ni los *Principios* de Newton, ni mucho menos la *Ética* de Spinoza alcanzan siquiera el imperfecto rigor deductivo de Euclides. Sólo con las *Lecciones de geometría moderna* de Pasch (1882) tenemos por fin una realización del método axiomático ajustada a la preceptiva aristotélica. Mediante proposiciones básicas (*Grundsätze*) que no se demuestran se enuncian relaciones entre conceptos básicos (*Grundbegriffe*) que no se definen. «Todo lo que se necesita para la demostración de los teoremas tiene que estar contenido sin excepción en las proposiciones básicas» (Pasch, 1882, 5). Aunque la geometría axiomatizada debe, pues, según Pasch, prescindir de diagramas y en general darle la espalda a la intuición y la experiencia, éstas son, en su opinión, la fuente de sus principios. Esta creencia desconcierta, pues la «geometría moderna» axiomatizada por Pasch es la geometría *proyectiva*, en que cada recta contiene un punto ideal por el que pasan todas sus paralelas y los puntos ideales de rectas en un mismo plano se alinean todos en una sola recta ideal, a *ambos* lados de la cual se extiende el resto del plano determinado por dichas rectas.

La necesidad de rigor deductivo en la geometría finalmente satisfecha por Pasch se había tornado urgente debido a la proliferación de teorías geométricas contraintuitivas. Las más importantes para el desarrollo de la axiomática moderna son la geometría proyectiva creada por Poncelet (1822) y la geometría «no euclidiana» descubierta independientemente por Lobachevsky (1829) y Bolyai (1832). Ésta difiere de la geometría de Euclides solamente en que niega el Postulado V y sus consecuencias. Dicho postulado puede parafrasearse así: *Sean* μ *y* υ *dos rectas coplanares que cortan a una recta transversal* τ *en los puntos M y N, respectivamente; entonces* μ *y* ν *se cortan en aquel lado de* τ *en que formen con* τ *ángulos internos cuya suma sea menor que dos ángulos rectos* (ángulos *internos* son los que cada recta forma con la transversal hacia el lado en que está la otra recta). Nunca fue tenido por evidente: es obvio que μ y υ convergen hacia el lado de τ en que el postulado dice que se cortan, pero

también la hipérbola converge hacia sus asíntotas sin cortarlas jamás. Desde la antigüedad se hicieron muchos intentos por demostrar el Postulado V como teorema, pero sólo se lograba al precio de postular otra proposición equivalente. Lobachevsky y Bolyai se resolvieron a determinar deductivamente las propiedades de un espacio en que el Postulado V es falso. Son curiosas: en tal espacio no hay rectángulos, los tres ángulos de un triángulo suman menos que dos rectos, y toda figura similar a otra es congruente con ella (dos figuras no pueden tener la misma *forma* si no tienen a la vez el mismo *tamaño*). Por último, hay diversos espacios de este género, caracterizables mediante un parámetro cuyo valor para un espacio dado se puede determinar así: sea α un ángulo recto con vértice A; entonces existe un punto B en el interior del ángulo α por el cual pasa una recta paralela a *ambos lados* del ángulo; la distancia AB es característica del espacio en cuestión.

Como es obvio, la geometría no euclidiana no puede suplir con diagramas las lagunas del razonamiento: las propiedades de sus figuras no se dejan exhibir persuasivamente en nuestras pizarras. Para investigar una geometría distinta de la empleada por carpinteros y arquitectos no tenemos otro recurso que la inferencia deductiva a partir de supuestos explícitos. De hecho, poseemos un ejemplo extraordinario de rigor deductivo en la obra de Saccheri (1733), quien se propuso demostrar el Postulado V por reducción al absurdo. En busca de una consecuencia contradictoria de la negación del Postulado V, Saccheri fue deduciendo los principales teoremas de la geometría anunciada un siglo más tarde por Bolyai y Lobachevsky, hasta que dio un paso en falso e infirió una pretendida contradicción, una propiedad contraria según él a «la naturaleza de la línea recta».

Lobachevsky resguardó definitivamente su geometría no euclidiana contra tales empresas al demostrar que ella no puede contener una contradicción a menos que también la contenga la geometría euclidiana. Su demostración es algebraica: toma las ecuaciones trigonométricas de su sistema y muestra que al sustituir en ellas la longitud de cada lado del triángulo considerado por la misma cantidad multiplicada por i (la raíz cuadrada de -1) se obtienen las ecuaciones clásicas de la trigonometría esférica. Por tanto, a cualquier contradicción derivable de aquellas correspondería una contradicción derivable de éstas (Lobachevsky, 1898/99, I, 65). Mediante esta genial observación, Lobachevsky ha dado la primera prueba de lo que hoy llamamos la *consistencia relativa* de una teoría axiomática (relativa, esto es, a la consistencia —por el momento incuestionada— de otra teoría). Como la trigonometría esférica clásica no depende del Postulado V, la geometría de Lobachevsky es consistente relativamente a lo que Bolyai llamó «geometría absoluta», es decir, la teoría determinada por los supuestos de Euclides sin el Postulado V (ni su negación). De paso, pues, Lobachevsky ha demostrado también la *independencia* del Postulado V con respecto a los otros supuestos de Euclides: si la «geometría absoluta» es consistente, el Postulado V no se deduce de ella. En efecto, como la geometría lobachevskiana *incluye* todos los supuestos de la «geometría absoluta», si el Postulado V se dedujese de ésta también se deduciría de aquélla, haciéndola inconsistente. (Por cierto, si la «geometría absoluta» fuese inconsistente, se deduciría de ella todo lo que se quiera, incluso el Postulado V y su negación.)

El aporte de la geometría proyectiva al perfeccionamiento del método axiomático no ha sido menos significativo (cf. Nagel, 1939; Freudenthal, 1974). En este campo se hizo patente una de sus características más interesantes y fecundas: como una teoría axiomática utiliza términos que no define y cuyo significado está restringido sólo por las relaciones aseveradas en los axiomas, la misma teoría puede aplicarse sin desmedro de la verdad a dos (o más) sistemas de objetos de muy diferente índole, si las relaciones mutuas entre los objetos de un sistema tienen cierta homología con las relaciones mutuas entre los objetos del otro. Esta idea se aclarará más en las secciones siguientes. Por ahora basta ilustrarla con dos ejemplos: 1) Si en cualquier teorema de la geometría proyectiva plana se reemplaza uniformemente la palabra «punto» por «recta» y «recta» por «punto» y se reinterpretan apropiadamente las expresiones que se refieren a relaciones de incidencia entre puntos y rectas, se obtiene otro teorema de la geometría proyectiva plana. 2) Considérese el haz formado por todas las rectas que se cortan en un mismo punto del espacio euclidiano. Si a cada recta de este haz la llamamos *un punto* y a cada plano determinado por dos de ellas lo llamamos *una recta*, nuestro haz satisface todos los teoremas de la geometría proyectiva plana. Esta interpretación nos brinda un *modelo* (realización) perfectamente visualizable del plano proyectivo. (Adviértase que este modelo no da ningún asidero para distinguir entre la «recta ideal» y las demás «rectas», ni entre los «puntos ideales» y los otros «puntos»—un distingo que, por otra parte, es enteramente ajeno a las proposiciones de la teoría, y resulta de la consideración *extrínseca* de su interpretación ordinaria.)

V. LOS *FUNDAMENTOS DE LA GEOMETRIA* DE HILBERT

Las primeras axiomatizaciones de la geometría euclidiana que satisfacen las exigencias de Pasch fueron publicadas casi al mismo tiempo, en 1899, por Pieri y Hilbert. Pieri, preocupado como muchos de sus contemporáneos con la idea de reducir todo lo posible el número de primitivos, usa sólo dos, *punto* y *movimiento*, que combina en 20 axiomas, no siempre perspicuos. Ellos determinan la «geometría absoluta», pero, como Pieri señala (1899, 176, 177), basta un pequeño complemento para convertir la teoría en geometría euclidiana o lobachevskiana, según se desee. Hilbert, más atento a promover la inteligencia que a servir a una obsesión profesoral, adopta ocho primitivos. Gracias a esta liberalidad puede enunciar axiomas tan claros y tan obviamente idóneos que su libro llegó a ser el paradigma del método axiomático del siglo XX.

Tres de los primitivos de Hilbert son predicados monádicos: ξ *es un punto*, η *es una recta*, ζ *es un plano*. Uno es un predicado triádico: ξ *está entre* η *y* ζ (conforme a los axiomas, los tres sujetos ξ, η y ζ tienen que ser *puntos* situados en una misma *recta*). Los cuatro restantes son predicados diádicos: dos expresan relaciones de *incidencia*: de un *punto* en una *recta*, de un *punto* en un *plano*; los otros dos expresan relaciones de *congruencia*, entre *segmentos* y entre *ángulos* (un *segmento* se define como *un par de puntos*, entendiéndose que todos los puntos que hay *entre* ellos están *dentro* del segmento; también se da una definición de *ángulo*).

Los axiomas de Hilbert están ordenados en cinco grupos. Los tres primeros gobiernan las relaciones de *incidencia*, *estar entre* y *congruencia*, respectivamente. El grupo IV contiene un sólo axioma, equivalente —en el contexto de esta teoría— al Postulado V de Euclides. Así, para convertir el sistema de Hilbert en una axiomatización de la geometría lobachevskiana basta reemplazar el Axioma IV.1 por su negación. En la primera edición de Hilbert (1899), el grupo V constaba también de un solo axioma, el llamado Postulado de Arquímedes, parafraseable así: dados dos segmentos, existe siempre un número entero n tal que el mayor de esos segmentos es congruente con una parte del segmento formado por n copias colineales y contiguas del segmento más pequeño. La teoría determinada por los grupos I–IV y este Axioma V.1 admite modelos no isomórficos[1]. Por una parte, tenemos el espacio de la geometría griega, que comprende todos los puntos idealmente construibles —a partir de dos puntos dados— con regla y compás. Dicho espacio es denso (hay infinitos puntos en cualquier entorno de un punto dado), pero no es continuo (por ejemplo, si r es la distancia entre dos puntos dados y π es el cociente entre el diámetro y el radio de un círculo, no hay ningún par de puntos cuya distancia sea precisamente igual a πr, lo cual obviamente genera discontinuidades en todas las rectas)[2]. Por otra parte, tenemos el espacio de la mecánica moderna, en que las partículas se mueven con velocidades y aceleraciones que son derivadas (primeras y segundas) de la posición espacial con respecto al tiempo. Para que estos conceptos tengan sentido el espacio tiene que ser continuo, cada recta

1. No es posible ofrecer aquí una definición precisa de la manida y abusada palabra *isomórfico*. Véase, por ejemplo, Bourbaki (1970, E IV.6). Informalmente, podemos decir que dos sistemas de objetos son isomórficos si realizan el mismo esquema de relaciones, para lo cual, obviamente, se requiere ante todo que ambos sistemas sean equinumerosos, es decir, que haya una correspondencia biunívoca entre los elementos de un sistema y los del otro. Por ejemplo, los días de la semana ordenados de lunes a domingo constituyen un sistema isomórfico a los días de la semana ordenados, a la inglesa, de domingo a sábado. En cambio, el sistema de los siete días de la semana no es isomórfico al de los doce meses del año (ordenados de enero a diciembre), pues no hay un par de días cuya relación mutua sea homóloga a la relación entre enero y agosto.

2. Si entre los puntos construidos con regla y compás hubiese segmentos de longitud r y πr, sería posible «cuadrar» el círculo de radio r: el área de este círculo sería igual a la del rectángulo que tiene dichos segmentos como lados.

tiene que ser isomórfica al sistema de los números reales. El Axioma V.2, incluido en la segunda edición de la obra de Hilbert, está destinado precisamente a asegurar que la teoría sea, como se dice, *monomórfica* o *categórica*, esto es, que todos sus modelos sean isomórficos. Traducido, reza así: *El sistema de los puntos de una recta con sus relaciones de orden y congruencia no admite ser ampliado de modo que se preserven las relaciones entre los puntos originales, las propiedades básicas del orden lineal y la congruencia implicadas por los Axiomas I–III y la validez del Axioma V.1.* Evidentemente, la geometría euclidiana de la regla y el compás viola este axioma, pues sus rectas «porosas» pueden enriquecerse —sin modificar las relaciones de orden y congruencia entre sus puntos— con todos los puntos que hagan falta para conferirles genuina continuidad, y el espacio resultante también satisface los Axiomas I–III y V.1.

La parte más extensa de la obra de Hilbert (1899) se dedica a investigar la *independencia* de ciertos axiomas y a probar la *consistencia* relativa de su teoría. Estos conceptos se definirán en el apartado VII. Pero es oportuno destacar aquí una característica insoslayable de las teorías axiomáticas que Hilbert entendió a fondo y puso en evidencia al valerse de esos métodos. Como una teoría axiomática utiliza términos primitivos cuya denotación posible está restringida sólo por las condiciones impuestas en los axiomas, una teoría dada admite múltiples realizaciones, por sistemas de objetos de índole radicalmente diversa. Como Hilbert proclamaba en las cervecerías de Göttingen, sus *puntos*, *rectas* y *planos* podrían ser *sillas*, *mesas* y *jarras*, si entre éstas existieran relaciones como las prescritas por sus axiomas. A lo sumo, cabe exigir que la teoría sea categórica, que sus diferentes realizaciones ilustren todas un mismo esquema estructural.

VI. QUE ES UNA TEORIA AXIOMATICA

Al comienzo de este artículo caracterizamos una teoría axiomática T como la colección de todas las aseveraciones que son consecuencia lógica de una cierta lista A de aseveraciones, los *axiomas* de T. Entre tanto, hemos visto que los axiomas deben satisfacer una condición que no se hizo explícita al principio: todas las palabras o frases utilizadas en ellos para nombrar objetos o expresar propiedades y relaciones deben salir de una lista P de *primitivos* —esto es, palabras o frases a las que no se les asigna de antemano ningún significado (privándoselas, por tanto, del que pudieran tener en el uso corriente)— o estar definidas mediante tales primitivos. Cualquier colección numerable —finita o infinita— de aseveraciones (o de términos) es una *lista*. Mas para que el ordenamiento axiomático de un campo del saber sea viable y útil, es menester que las listas A y P sean *decidibles*, esto es, que haya un procedimiento efectivo que permita decidir en un número finito de pasos si un objeto dado pertenece o no a una de esas listas[3]. La presencia de los primitivos permite conferirle un significado preciso al concepto de *consecuencia lógica* que es central para nuestra caracterización. *Interpretamos* la teoría T asignándoles significaciones precisas a los primitivos: objetos a los nombres, propiedades y relaciones de esos objetos a los predicados monádicos y poliádicos. Una interpretación de T en que todas las aseveraciones de la lista A resultan ser verdaderas constituye un *modelo* de T. Una aseveración cualquiera Q es una *consecuencia lógica* de las aseveraciones de A si Q es verdadera en todo modelo de T.

Esta definición tiene implicaciones a primera vista sorprendentes. Por ejemplo, si A_b es la lista de axiomas de Hilbert (1899) y Q es la aseveración «Carlos I de Inglaterra muere decapitado en 1649», Q es una consecuencia lógica de A_b, puesto que Q es verdad como quiera que se interpreten los primitivos de Hilbert. La inclusión de Q en la teoría axiomática determinada por A_b no hace daño pero es ciertamente incómoda y opuesta al uso matemático. Para limpiar nuestra teoría axiomática de verdades impertinentes, es necesario deslindar un fragmento del idioma —castellano, en nuestro caso— en que se la formula y reconocer como aseveraciones de la teoría sólo aquellas consecuencias lógicas de los axiomas que pueden formularse en ese fragmento. Típicamente, el fragmento de castellano utilizable en una teoría T contendrá sólo los primitivos de T, expresiones definidas mediante ellos, el vocabulario aritmético (entendido en su significado normal), ciertas formas selectas de los verbos *ser* y *estar*, y un repertorio mínimo de artículos, pronombres y palabras invariables[4]. La delimitación del lenguaje propio de una teoría axiomática se lleva a efecto con exactitud como parte del procedimiento de *formalización* de que hablaremos en el apartado VIII. Pero también puede practicarse —y de hecho se practica— *informalmente* con suficiente precisión (nadie diría que Q es un teorema de geometría).

VII. CONSISTENCIA E INDEPENDENCIA

Ya se han citado ejemplos de estas importantes propiedades. Procedemos ahora a definirlas. Sea T una teoría axiomática con lista de primitivos P

3. Tal será siempre el caso si la lista es finita: tras un número finito de operaciones de comparación se podrá decidir entonces si el objeto propuesto figura o no en ella. Pero también es decidible la lista infinita P_0 definida así: (i) la palabra «teoprim» está en P_0; (ii) si una palabra X está en P_0, entonces la palabra formada agregando el sufijo «prim» al final de X está en P_0; (iii) todo objeto perteneciente a P_0 cae bajo una de las descripciones (i) y (ii). Por simple inspección se puede establecer entonces que palabras como «teoprimprimprim», «teoprimprimprimprimprimprim», etc., pertenecen a P_0 pero «salamandra» y «primprimprimteoprim» no pertenecen a P_0. Obviamente, tampoco pertenece a P_0 la estatua de Felix Dzerzhinsky derribada en Moscú el 22 de agosto de 1991.

4. Nada de interjecciones. La mayoría de las preposiciones y adverbios admisibles han de figurar entre los primitivos o derivarse de ellos, pero —a menos que se trate de axiomatizar la lógica— es claro, por ejemplo, que las palabras requeridas para expresar la *negación* deben retenerse en su significado ordinario. Cuando hay varias conjunciones —como «pero» e «y»— que difieren por su fuerza retórica pero tienen el mismo valor epistémico, conviene retener sólo una de ellas, en aras de la simplicidad.

y lista de axiomas A. Suponemos que todas las aseveraciones de T pueden expresarse en un fragmento bien delimitado C_T de nuestro idioma. T es *inconsistente* si contiene una aseveración y la negación de esa aseveración. De otro modo, T es *consistente*. Obsérvese que, según esto, T es inconsistente si y sólo si T no tiene modelos, esto es, si y sólo si *no existe* una interpretación de los primitivos P que haga verdaderos a *todos* los axiomas A. En efecto, T contiene una aseveración Q y su negación $\neg Q$ si y sólo si tanto Q como $\neg Q$ son verdaderas *a la vez en todo* modelo de T. Pero, obviamente, esto sólo puede ocurrir si T no tiene *ningún* modelo. Una teoría inconsistente carece, pues, de todo interés intrínseco. El modo usual de probar que una teoría es consistente es producir un modelo suyo (en el § 8 nos referiremos a otro método). Si la teoría no tiene modelos finitos, no será posible, en rigor, *producir* un modelo suyo, pero es posible caracterizarlo conceptualmente y demostrar su existencia *apelando a otra teoría*. Así se prueba la consistencia de aquella teoría *relativamente a* ésta. Por esta vía, Lobachevsky estableció la consistencia de su geometría relativamente a la trigonometría esférica euclidiana y Hilbert la consistencia de la geometría euclidiana relativamente a la teoría de los números reales.

Sea Q uno de los axiomas A y A' la lista que resta si eliminamos Q. Q es independiente (con respecto a A') si la teoría determinada por A' y la negación de Q es consistente. Por lo tanto, las pruebas de independencia también consistirán en producir modelos, como hace Hilbert (1899) para establecer la independencia de algunos de sus axiomas. Decimos que A es *independiente* si cada uno de sus axiomas es independiente (con respecto a A).

VIII. AXIOMATICA Y FORMALIZACION

El mismo afán de rigor que condujo a Pasch, Hilbert y sus contemporáneos a perfeccionar el método axiomático promovió al mismo tiempo el desarrollo de «lenguajes» artificiales, de sintaxis sencilla y estricta, para expresar las matemáticas. Frege (1879) inventa su «escritura conceptual» a fin de mostrar inequívocamente que las verdades aritméticas pueden deducirse de definiciones y «leyes lógicas». Con ese propósito, crea los recursos simbólicos necesarios para expresar lúcidamente aquellas verdades y estas leyes y estipula «reglas de inferencia» que permiten, atendiendo sólo a la figura representativa de una o dos aseveraciones (premisas), calcular la figura representativa de una aseveración (conclusión) que es una consecuencia lógica de las primeras. Digamos que una regla así *trasmite la verdad* (de las premisas a la conclusión) o, más brevemente, que es una regla *trasmisora*. Tales reglas gobiernan la construcción de lo que los practicantes de este género de escritura llaman una *prueba*, esto es, una secuencia finita de figuras de la escritura conceptual, cada una de las cuales representa una aseveración adoptada como premisa o resulta de la aplicación de una regla de inferencia a una o más de las que la preceden.

Whitehead y Russell (1910/13) reemplazaron el simbolismo bidimensional de Frege, elocuente pero tipográficamente difícil, por otro unidimensional —como nuestra escritura ordinaria— inspirado en la pasigrafía de Peano (1895ss), del cual provienen a su vez los simbolismos actualmente en uso[5]. Las escrituras conceptuales de Frege y de Whitehead/Russell tienen en común la siguiente propiedad, que las distingue radicalmente de un lenguaje propiamente tal, como el castellano: su gramática incluye reglas que permiten decidir inequívocamente, tras un número finito de operaciones, si un objeto dado es o no [1] un símbolo elemental de la escritura, [2] un término o predicado (compuesto de símbolos elementales), [3] una oración (compuesta de predicados, términos y símbolos elementales) o [4] una prueba (compuesta de oraciones). Gracias a esta propiedad es posible, en principio, certificar sin lugar a dudas que un texto constituye una prueba. En tal caso, se dice que su conclusión —esto es, su última oración— es *deducible* de las oraciones admitidas como premisas. Como es obvio, si las reglas de inferencia estipuladas son realmente reglas trasmisoras, la conclusión será también una consecuencia lógica de las premisas. Diremos que una teoría axiomática expresada mediante una escritura conceptual de este tipo ha sido *formalizada efectivamente*.

Las escrituras conceptuales, con su énfasis en la perspicuidad de las deducciones, son ni que mandadas hacer para expresar las teorías axiomáticas, con su característico ordenamiento del saber en axiomas y consecuencias de los axiomas. El ajuste entre expresión y contenido expresado es tan grande que en el primer tercio del siglo XX fue corriente *confundirlos*: más de un prestigioso filósofo creyó seriamente que la relación lógica de *consecuencia* entre los axiomas y teoremas de una teoría era *idéntica* a la relación sintáctica o, mejor dicho, ortográfica de *deducibilidad* entre las figuras que representan a aquéllos y a éstos en una formalización de la teoría. También el carácter *formal* de las teorías axiomáticas —vale decir, su indiferencia a la identidad individual de sus objetos— que resulta, como hemos visto, de la presencia de primitivos interpretables de muchas maneras, se confundió a veces con la *formalidad* en la presentación de dichas teorías mediante una escritura conceptual sujeta a reglas estrictas sobre la construcción de términos, oraciones y pruebas.

Hilbert (1922, 1923) creyó ver en la formalización efectiva de la aritmética axiomatizada por Peano (1889) un camino seguro para probar directamente su consistencia absoluta, y con ella, indirectamente, la de cualquier otra teoría que se probare consistente relativamente a la aritmética. Bastaba, aparentemente, establecer, mediante una reflexión acu-

5. También introducen reformas más profundas en el sistema de Frege, para remover la inconsistencia que lo vicia.

ciosa sobre las figuras representativas de los axiomas y las transformaciones que pueden sufrir bajo la acción de las reglas de inferencia, que ninguna prueba de la aritmética formalizada puede terminar con una figura representativa de la desigualdad $0 \neq 0$. Digamos que la aritmética formalizada es *sintácticamente consistente* si tiene esta propiedad. Es claro que la consistencia sintáctica asegura la genuina consistencia lógica sólo si la formalización efectiva es lo que se llama *completa*, es decir, si toda consecuencia lógica de los axiomas es deducible de ellos (de otro modo, podría ocurrir que $0 \neq 0$ fuera una consecuencia lógica de los axiomas, aunque no fuera deducible de ellos). Herbrand (1929) demostró que el fragmento de aritmética determinado por los primeros cuatro axiomas de Peano es sintácticamente consistente[6]. Gödel (1930) demostró que la escritura conceptual llamada Cálculo Predicativo de Primer Orden (CPPO)[7] tiene la siguiente propiedad: Si $A_1,\ldots, A_n$, y Q son oraciones del CPPO y Q representa una aseveración que es una consecuencia lógica de las aseveraciones representadas por $A_1,\ldots, A_n$, existe una prueba del CPPO cuya conclusión es Q y cuyas premisas figuran en la lista $A_1,\ldots, A_n$. Como el fragmento de aritmética considerado por Herbrand es expresable en el CPPO, su consistencia genuina había quedado demostrada. La meta de Hilbert parecía estar al alcance de la mano. Pero muy pronto se puso en evidencia que era inalcanzable, al menos por la vía originalmente prevista. Gödel (1931) demostró que si $\mathfrak{F}$ es una formalización efectiva de la aritmética y $\mathfrak{F}$ es sintácticamente consistente, $\mathfrak{F}$ incluye oraciones que representan verdades aritméticas pero no son deducibles de los axiomas; además, bajo las condiciones indicadas es siempre posible representar en $\mathfrak{F}$ la aseveración «$\mathfrak{F}$ es sintácticamente consistente», pero ninguna oración que la represente es deducible en $\mathfrak{F}$ de oraciones que representen verdades lógicas[8].

IX. EL METODO AXIOMATICO EN LA MATEMATICA ESTRUCTURALISTA

Desde mediados del siglo XX influyen poderosamente sobre la enseñanza matemática las ideas de Bourbaki. Con miras a unificar el panorama

6. La aritmética axiomatizada de Peano tiene tres primitivos —«cero», «número» y «siguiente»— y cinco axiomas. Los primeros cuatro son: 1. Cero es un número. 2. El siguiente de un número es un número. 3. $a = b$ si y sólo si el siguiente de a es idéntico al siguiente de b. 4. Cero no es el siguiente de ningún número. El axioma 5 expresa el principio de inducción matemática: Si alguna propiedad P es tal que (i) cero tiene P y (ii) si un número tiene P también el siguiente de ese número tiene P, entonces todos los números tienen P.

7. Hablando informalmente puede decirse que el CPPO equivale a lo que resta de la escritura conceptual de Frege o de Whitehead/Russell si se eliminan los recursos que ellas poseen para referirse a *alguna propiedad* o *relación* no especificada, conservando empero aquellos que permiten referirse a *algún objeto individual* indeterminado. Obsérvese que el Axioma 5 de Peano (nota 6) no puede ser representado por una oración del CPPO, puesto que habla de *alguna propiedad* (no especificada).

8. La condición impuesta originalmente por Gödel (1931) a la formalización $\mathfrak{F}$ no es tan sencilla. Pero como mostró Rosser (1936), basta suponer que $\mathfrak{F}$ es sintácticamente consistente para que los resultados de Gödel (1931) le sean aplicables.

inmensamente vasto y a primera vista heterogéneo de las matemáticas Bourbaki concibe sus distintas especialidades como el estudio de *especies de estructura*, cada una de las cuales es caracterizable según un mismo esquema de aplicación general. Éste depende de la noción de *conjunto* que, en el presente contexto, podemos entender ingenuamente, a la manera de Cantor, como *colección de objetos cualesquiera*. Adoptamos, sí, la convención matemática según la cual hay conjuntos *unitarios*, que constan de un solo elemento, y un conjunto *vacío* $\varnothing$, que no tiene ninguno. Esta convención permite simplificar el enunciado de muchas aseveraciones y, si se la entiende como tal, es probablemente inocua. Si el conjunto A contiene el objeto a, escribimos $a \in A$. Si A y B son conjuntos tales que todo elemento de A es un elemento de B, decimos que A es una *parte* de B y escribimos $A \subseteq B$ (obsérvese que, conforme a esta definición, $\varnothing \subseteq A \subseteq A$, cualquiera que sea el conjunto A). Se acepta comúnmente que si A y B son conjuntos (posiblemente idénticos) también existe [1] el *conjunto potencia* $\mathcal{P}(A)$, cuyos elementos son todas las partes de A, y [2] el *producto cartesiano* $A \times B$, cuyos elementos son todos los pares ordenados $\langle a,b \rangle$ tales que $a \in A$ y $b \in B$. Si $\mathcal{F}$ es una familia de conjuntos designaremos con $\mathcal{F}^*$ a la familia formada por todos los conjuntos que existen en virtud de [1] y [2] si existen los conjuntos de $\mathcal{F}$. Una *estructura* $\mathcal{E}$ es una lista de objetos formada por (i) los conjuntos de una familia finita arbitraria $\mathcal{B}$ (la *base* de $\mathcal{E}$) y (ii) una lista finita de objetos pertenecientes a conjuntos de la familia $\mathcal{B}^*$ (los *elementos característicos* de $\mathcal{E}$). Para caracterizar una *especie de estructura* basta indicar el número de componentes de su base y estipular las condiciones que deben cumplir sus elementos característicos[9]. Cualquier estructura cuya base tenga ese número de componentes y cuyos elementos característicos satisfagan esas condiciones es una estructura de esa especie.

Para aclarar estas ideas, caracterizaremos conforme al esquema antedicho dos especies de estructura sencillas pero importantísimas: *grupo* y *espacio topológico*. Un grupo $\mathcal{G}$ es un par $\langle G,\gamma \rangle$, donde G es un conjunto cualquiera —el único elemento de la base $\{G\}$ de $\mathcal{G}$— y γ es una aplicación de $G \times G$ en G tal que, si $a, b, c \in G$ [G1] $\gamma(a,\gamma(b,c)) = \gamma(\gamma(a,b),c)$, [G2] hay un elemento $x \in G$ tal que $\gamma(a,x) = b$ y [G3] hay un elemento $y \in G$ tal que $\gamma(y,a) = b$[10]. Un espacio topológico $\mathcal{S}$ es un par $\langle S,\phi \rangle$, donde S es un conjunto cualquiera y ϕ es una aplicación de $\mathcal{P}(S)$ en $\mathcal{P}(S)$ tal que, si $A, B \subseteq S$ y $A \cup B$ denota la unión de A y B, [T1] $\phi(A \cup$

9. Las condiciones deben ser «transportables» en el sentido explicado por Bourbaki (1970, E IV.2); cf. Torretti, 1990, 86.

10. Recuérdese que una aplicación φ de un conjunto D (el *dominio* de φ) en un conjunto K (el *codominio* de φ) asigna a cada $d \in D$ un único objeto $\varphi(d) \in K$ (el *valor* de φ en el *argumento* d). Por lo tanto, en virtud de la propia definición de γ, para cada par de elementos $a, b \in G$ hay un y sólo un elemento $w \in G$ tal que $\gamma(a,b) = w$. Según Bourbaki (1970, E II.14), se puede identificar una aplicación φ de D en K con el trío $\langle \Gamma_\varphi, D, K \rangle$, donde Γ_φ, el *grafo* de φ, es el conjunto de todos los pares $\langle x,\varphi(x) \rangle$ con $x \in D$. Esta identificación es artificial pero idónea. En virtud de ella, $\gamma = \langle \Gamma_\varphi, G \times G, G \rangle$ es un elemento distinguido de $\mathcal{P}((G \times G) \times G) \times \mathcal{P}(G \times G) \times \mathcal{P}(G)$, que es uno de los conjuntos de la familia $\{G\}^*$.

$B) = \phi(A) \cup \phi(B)$, [T2] $A \subseteq \phi(A)$, [T3] $\phi(\phi(A)) = \phi(A)$ y [T4] $\phi(\varnothing) = \varnothing$. Estas caracterizaciones determinan dos teorías axiomáticas, con axiomas [G1]–[G3] y [T1]–[T4], que constituyen, respectivamente, el campo de estudio de la *teoría de grupos* y la *topología general*. Agregándoles nuevos axiomas independientes de los antedichos se caracterizan subespecies de las estructuras descritas, que son el tema de subespecialidades de esas disciplinas. Por ejemplo, la *teoría de los grupos abelianos* se constituye agregando a [G1]–[G3] el siguiente axioma: [GA] Si $a, b \in G$, $\gamma(a, b) = \gamma(b, a)$.

Los axiomas I–IV de Hilbert (1899) caracterizan, como se podrá ver, una especie de estructura $\mathscr{E} = \langle \Pi,\Lambda,\Sigma,I_1,I_2,E,K_1,K_2\rangle$, cuya base consta de los tres conjuntos arbitrarios, Π («puntos»), Λ («rectas») y Σ («planos»), y cuyos elementos característicos pueden describirse así: I_1 es el conjunto de todos los pares formados por un punto y una recta que pasa por él y por ende es un elemento de $\mathscr{P}(\Pi \times \Lambda)$; I_2 es el conjunto de todos los pares formados por un punto y un plano que pasa por él y por ende es un elemento de $\mathscr{P}(\Pi \times \Sigma)$; E es el conjunto de todos los tríos formados por un punto y un par de puntos entre los cuales ese punto se encuentra y por ende es un elemento de $\mathscr{P}(\Pi \times (\Pi \times \Pi))$; K_1 es el conjunto de todos los pares de segmentos congruentes y por ende es un elemento de $\mathscr{P}((\Pi \times \Pi)\times (\Pi \times \Pi))$; K_2 es el conjunto de todos los pares de ángulos congruentes y puede identificarse, mediante un esfuerzo que no es necesario reproducir aquí, con un elemento distinguido de un conjunto de la familia $\{\Pi,\Lambda,\Sigma\}^*$. A los axiomas I–IV se puede agregar sin más el axioma V,1 (postulado de Arquímedes) si disponemos de un lenguaje que nos permita hablar con precisión de números enteros positivos sin poseer una teoría de la aritmética (esto es posible si, como en este caso, con dichos números sólo se pretende *contar* copias de segmentos y no propiamente *hacer aritmética*, sumándolos, multiplicándolos, etc.; véase Bostock, 1974). Para agregar el axioma V,2 hay que reformularlo, por ejemplo, como propuso Baldus (1928). Por este camino se obtiene una caracterización adecuada de la especie de estructura *espacio euclidiano* de la cual es un ejemplar *cualquier* octeto $\langle \Pi,\Lambda,\Sigma,I_1,I_2,E,K_1,K_2\rangle$ que cumpla las condiciones estipuladas.

X. EL METODO AXIOMATICO EN LA LOGICA Y LA TEORIA DE CONJUNTOS

Acabamos de ver cómo la escuela matemática más influyente en el último medio siglo emplea el método axiomático para caracterizar *conceptos*. Tales conceptos se expresan uniformemente mediante predicados —como «x es un grupo abeliano» o «x es un espacio topológico»— atribuibles a objetos (n-tuplos) propios de la teoría de conjuntos. Cada especialidad matemática queda entonces determinada como el estudio de las consecuencias implícitas en la caracterización de uno o varios de esos conceptos. Desde este punto de vista, la clásica pregunta filosófica

por la verdad y la evidencia de los axiomas de una dada disciplina matemática resulta ser impertinente: el concepto caracterizado por esos axiomas puede ser una «libre invención del espíritu humano» (Einstein, 1934, 180) que se estudia con vistas a su eventual aplicación en las ciencias naturales o sociales, o simplemente por su belleza. Como es obvio, el método axiomático no se puede emplear de este modo ni en la *lógica*, que analiza y codifica la derivación de consecuencias, ni en la *teoría de conjuntos* misma, que el enfoque descrito presupone. No es posible ofrecer aquí un tratamiento satisfactorio de las espinosas cuestiones que envuelve el uso corriente del método axiomático en estas disciplinas, pero daremos algunas indicaciones al respecto.

Las primeras axiomatizaciones de la lógica (Frege, 1879, 1893; Whitehead y Russell, 1910, etc.) exhiben una llamativa y poco elegante dualidad de principios: éstos incluyen aseveraciones no demostradas o *axiomas* propiamente tales, y también *reglas de inferencia*, que prescriben la figura de las conclusiones que pueden derivarse de ciertos tipos de premisas. Se puede reducir el número de reglas incrementando (o complicando) los axiomas, pero no se las puede eliminar del todo. Pero Gentzen (1934) y Jaśkowski (1934) mostraron independientemente que en lógica se puede prescindir de axiomas adoptando reglas de inferencia apropiadas. En el sistema de Gentzen, una *prueba* es una secuencia finita no de *oraciones*, sino de *pares de conjuntos de oraciones* que llamaremos «secuentes»[11]. El primer conjunto del par que forma un secuente es su antecedente, el segundo, su consecuente. Entre el antecedente y el consecuente escribimos una flecha, así: «$\Gamma \rightarrow \Delta$». Imitando a Gentzen, escribimos «Γ, H» en vez de «$\Gamma \cup$ H» y «A» en vez de «$\{A\}$» (donde A es una oración cualquiera). Un secuente de Gentzen debe tener la siguiente propiedad: la verdad de *todas* las oraciones del antecedente garantiza en todo caso que el consecuente contiene por lo menos *una* oración verdadera. Las reglas de inferencia de Gentzen están diseñadas para asegurar que cualquier secuente de una prueba posee la propiedad indicada si la tienen todos los secuentes que le preceden. He aquí tres de ellas: [1] De un secuente de la forma $\Gamma, A \rightarrow \Delta$ inferir $\Gamma, A \wedge B \rightarrow \Delta$. [2] De un secuente de la forma $\Gamma \rightarrow \Delta, A$ inferir $\Gamma \rightarrow \Delta, B \vee A$. [3] De un secuente de la forma $\Gamma, A \rightarrow \Delta$, inferir $\Gamma \rightarrow \Delta, \neg A$. Es particularmente evidente que estas reglas cumplen el requisito antedicho, pero *una breve reflexión convence a cualquiera que entienda el idioma en que se le expliquen los símbolos de que las otras reglas también lo cumplen*. Para ilustrar su funcionamiento, derivemos el principio del tercero excluido, $A \vee \neg A$, del secuente trivial $A \rightarrow A$. De $A \rightarrow A$ inferimos $\varnothing \rightarrow A, \neg A$ por [3]; de aquí, $\varnothing \rightarrow A, A \vee \neg A$ por [2] y $\varnothing \rightarrow A \vee \neg A, A \vee \neg A$ por una variante obvia de [2]. Como la coma significa unión de conjuntos, hemos derivado el secuente $\varnothing \rightarrow A \vee \neg A$, que dice que $A \vee \neg A$ es verdad, cualquiera que sea la oración A. Las reglas de inferencia de Gentzen permiten derivar de un

11. *Sequenzen* en alemán, pero lo que nosotros llamamos «secuencia» se dice en alemán «Folge».

modo análogo todas las verdades lógicas expresables en el cálculo predicativo de primer orden.

La primera axiomatización de la teoría de conjuntos fue propuesta por Zermelo (1908) para poner en claro los supuestos de su controvertida demostración del Teorema del Buen Orden[12]. Con un axioma adicional introducido por Skolem (1922) y Fraenkel (1922), el sistema de Zermelo llegó a ser una de las dos axiomatizaciones estándar de la teoría de conjuntos[13]. Para nuestros efectos, basta considerar la versión original de 1908. Tiene dos primitivos, el predicado monádico «ξ *es un conjunto*» y el predicado diádico «ξ *es un elemento del conjunto* ζ», simbolizado «$\xi \in \zeta$». Uno de los axiomas establece un criterio de identidad: $a = b$ si, para todo objeto x, $x \in a$ si y sólo si $x \in b$. Dos postulan la existencia de ciertos conjuntos: uno sin elementos ($\varnothing$) y otro con infinitos elementos. Los demás son axiomas de existencia condicional: si tales conjuntos existen, existen tales otros. Por ejemplo, [II] si a y b son conjuntos, hay un conjunto $\{a,b\}$ cuyos únicos elementos son a y b; [IV] si a es un elemento, existe el conjunto $\mathcal{P}a$ cuyos elementos son las partes de a; [VI] si a es un conjunto de conjuntos no vacíos, ninguno de los cuales tiene un elemento en común con alguno de los otros, existe un conjunto b que contiene exactamente un elemento de cada elemento de a. [VI] es el famoso Axioma de Selección (b «selecciona» un elemento de cada conjunto de la colección a), indispensable para demostrar el Teorema del Buen Orden. No es fácil imaginarse cómo uno podría utilizar tales postulados de existencia —condicionada e incondicionada— para establecer, entre todas las relaciones binarias concebibles, cuál —o cuáles— satisfacen las condiciones impuestas por ellos a la relación $\in$. Tampoco es posible entender, simplemente, que $\in$ es el elemento característico de una especie de estructura $\langle K,\in\rangle$ determinada por los axiomas de Zermelo y dejar indeterminada la cuestión de si esta especie tiene o no ejemplares: la misma expresión «especie de estructura» no tiene un significado preciso para quien no entiende de antemano, sin ambigüedades, la relación $\in$. Parecería, entonces, que el matemático que adopta el sistema de Zermelo usa las expresiones «es un conjunto» y «es un elemento de un conjunto» como todo el mundo[14], y *hace fe* en que existen todos los conjuntos que los axiomas postulan, lo cual, por cierto, no puede verificar (piénsese que, en virtud de ellos, hay un conjunto infinito ω, el conjunto $\mathcal{P}\omega$ de las partes de ω, un conjunto $\mathcal{P}\mathcal{P}\omega$ de las partes de $\mathcal{P}\omega$, etc.). La teoría axiomática de conjuntos de Zermelo y sus sucesores no puede pues reclamar

12. El Teorema del Buen Orden dice que cualquier conjunto K puede ser ordenado linealmente de modo que cada parte no vacía P de K contenga un elemento que precede en ese ordenamiento a todos los demás elementos de P.

13. Se usa también otro sistema, desarrollado en trabajos sucesivos por von Neumann, Gödel y Bernays. Aunque ambos sistemas son bastante distintos a primera vista, todo lo que se puede demostrar en uno tiene su contrapartida demostrable en el otro.

14. Más exacto sería decir «*casi* como todo el mundo», puesto que todo el mundo no entiende «conjunto» de manera que exista un conjunto sin elementos.

para sí el mismo grado de evidencia que la lógica sin axiomas de Gentzen y Jaśkowski.

Esta diferencia entre la lógica y la teoría de conjuntos se hace presente a la hora de encarar el pluralismo que la axiomatización de estas disciplinas sugiere. (Cuando los supuestos de una disciplina intelectual se despliegan nítidamente en una lista de aseveraciones independientes, es casi inevitable preguntarse qué pasa si una de éstas se niega y se retienen las demás.) Cualquier persona que compruebe que es falso que una cierta aseveración p es falsa concluirá normalmente que p es verdadera, aunque sepa que hay una «lógica» consistente —relativamente a la lógica ordinaria— en que tal inferencia está prohibida. Del mismo modo, aunque se sostiene insistentemente —desde Birkhoff y von Neumann (1936)— que los fenómenos triunfalmente explicados por la mecánica cuántica obedecen a una «lógica» propia, incompatible con la lógica ordinaria o «clásica», nadie ha pensado que haya que desestimar ni una sola de las inferencias *clásicas* utilizadas en la demostración de los grandes teoremas de la mecánica cuántica. (Para una evaluación actual de la llamada «lógica cuántica» véase Stachel, 1986). En cambio, en teoría de conjuntos, el descubrimiento de que la Hipótesis del Continuo de Cantor (HCC) es independiente de las axiomatizaciones estándar —de modo que los axiomas habituales, incluido el de Selección, no son suficientes para refutarla (Gödel, 1938; 1939; cf. 1940) ni demostrarla (Cohen, 1963-64); cf. 1966)— ha producido tanta perplejidad que pocos le reconocerían hoy a la noción de *conjunto* el rango privilegiado que tuvo en el pensamiento de Bourbaki. La independencia de la HCC significa que, si «conjunto» es aquello que las axiomatizaciones estándar caracterizan como tal, la palabra se puede entender por lo menos en dos acepciones incompatibles. En la acepción determinada por la HCC, hay —desde el punto de vista de la numerosidad— sólo dos clases de «conjuntos» infinitos de puntos en una recta euclidiana: (i) «conjuntos» denumerables, como el conjunto de los puntos construibles con regla y compás mencionado en el apartado V y (ii) «conjuntos» indenumerables, los cuales pueden todos ponerse en correspondencia biunívoca con la totalidad de los puntos de la recta. Pero en la acepción determinada por la negación de la HCC, puede haber en la recta «conjuntos» indenumerables de puntos que no están en correspondencia biunívoca entre ellos ni con el total de los puntos de la recta. Por cierto, entre dos o más acepciones de una palabra uno puede elegir a su arbitrio la que le quede cómoda, o aceptarlas todas, distinguiéndolas mediante índices. Sin embargo, treinta años después del descubrimiento de Paul Cohen aún no sabemos a ciencia cierta en cuál de las dos acepciones mencionadas se usa la palabra «conjunto» cuando se dice, por ejemplo, que un espacio topológico es un *conjunto* de objetos cualesquiera en cuyo *conjunto* potencia se ha definido una aplicación ϕ que satisface los axiomas [T1]–[T4] del apartado VIII.

XI. EL METODO AXIOMATICO EN LA FISICA MATEMATICA

Llamemos *fenómeno* a cualquier aspecto o fragmento deslindable del acontecer. Una teoría física concibe una familia de fenómenos mediante un concepto matemático. Aunque dicho concepto será normalmente mucho más complicado y más estrecho que los conceptos estudiados por las diversas especialidades matemáticas, se lo puede articular, igual que éstos, como una especie de estructura bourbakiana (apartado IX). (Éste no es el único modo general de articular un concepto matemático ni necesariamente el más idóneo, pero en el presente contexto basta que fijemos nuestra atención en él.) Parecería, pues, que los físicos teóricos tuvieran que valerse del método axiomático a la hora de articular sus conceptos. Una ojeada a las revistas y tratados de física muestra que no es así. Bunge (1973, 67) explica el escaso uso del método axiomático en la física, en parte, porque «axiomático» se confunde erradamente con *a priori* o «evidente por sí mismo»; en parte, porque las teorías físicas suelen ser consideradas como meros artificios para el procesamiento de datos, que no requieren un ordenamiento lógico; en parte, por el miedo al rigor y la claridad. Pero hay también otra razón. Las teorías de la física matemática no surgen de la mente de sus creadores armadas de pies a cabeza como Atenea de la cabeza de Zeus. No es fácil, pues, ni aun para su autor, decir qué concepto matemático está en el centro de una teoría de vanguardia. Más aún, tal concepto normalmente podrá entenderse como una particularización de *diferentes* especies de estructura, que concuerdan en ese caso, pero son radicalmente diversas en general. La prematura fijación axiomática de una de esas alternativas puede resultar funesta. Cuando Einstein (1905) inventa la cinemática relativista ni siquiera sospecha que está creando la geometría de un espacio cuatridimensional con métrica semi-riemanniana de signatura 2 y curvatura 0. Pero si se hubiera empeñado en axiomatizarla lo natural habría sido que concibiera su cinemática de 1905 como la geometría de un espacio afín (cf. Robb, 1914). Tal enfoque no habría favorecido el tránsito a una teoría de la relatividad «generalizada» que concibe los fenómenos gravitacionales como una manifestación de la métrica semi-riemanniana del espacio-tiempo (Einstein y Grossmann, 1913).

Así pues, aunque al físico innovador se lo verá formulando matemáticamente hipótesis de las que deduce consecuencias experimentalmente contrastables, es improbable y tal vez indeseable que las incorpore en una teoría axiomática. Pero aun la axiomatización de teorías físicas maduras rara vez se ha practicado bien, aunque ayudaría bastante a entenderlas mejor. En el texto citado Bunge menciona unos pocos ejemplos, y él mismo, en un asombroso *tour de force*, axiomatizó las principales teorías de la física: mecánica clásica de partículas y de continuos, electromagnetismo clásico, relatividad especial y general, mecánica cuántica no relativista (Bunge, 1967). En la física reciente sobresale —en parte por su aislada singularidad— el empeño de Günther Ludwig (1970, 1985) por

fundar axiomáticamente la mecánica cuántica de una manera ajustada a la práctica científica.

Pero la reconstrucción axiomática de teorías físicas es hoy sobre todo labor de filósofos, emprendida por Joseph Sneed y sus colaboradores y discípulos para poner a prueba su concepción de la estructura de una teoría física. No es éste el lugar para explicar dicha concepción (cf. Sneed, 1971; Stegmüller, 1973, 1986; y sobre todo, Balzer, Moulines y Sneed, 1987). Señalemos solamente que para estos autores, una teoría física consta de un núcleo conceptual bien definido y una colección abierta de propuestas aplicaciones. Por su parte, el núcleo conceptual comprende una especie de estructura genérica, que fija rasgos generales de los modelos *potenciales* de la teoría (y sirve así supuestamente para seleccionar los fenómenos con que se la contrasta), y una subespecie de la anterior, que determina las leyes que la teoría prescribe para sus modelos *efectivos* (y constituye así, propiamente, su contenido contrastable). Es indispensable además que el núcleo conceptual incluya ciertas restricciones (*ligaduras*) concernientes a los modelos simultáneamente admisibles. (Las ligaduras de la mecánica newtoniana impedirán, por ejemplo, que la masa de la luna tenga un valor en el modelo adoptado para explicar las mareas y otro diferente en el modelo utilizado para calcular la trayectoria de un proyectil dirigido a la luna.) Otro componente del núcleo conceptual vincula la teoría con otras, más generales y más especiales, de la misma tradición investigativa. Obviamente, los componentes del núcleo conceptual de una teoría demandan una caracterización axiomática y el movimiento filosófico fundado por Sneed ha buscado dársela, en sus términos, a las principales teorías de la física. Aparte de los ejemplos incluidos en las obras citadas, cabe mencionar las axiomatizaciones de la termodinámica elemental por Moulines (1975), de la mecánica clásica por Gähde (1983) y de la electrodinámica clásica por Bartelborth (1988).

XII. EL METODO AXIOMATICO EN OTRAS CIENCIAS

El asombroso éxito de la física matemática en la explicación y predicción de los fenómenos a que se refiere ha movido a muchos a pensar que con sólo imitar sus métodos sus triunfos podrían duplicarse en otros campos. En particular, se ha visto en el método axiomático —no obstante su escasa popularidad entre los físicos— un medio seguro para lograr la precisión y nitidez que ostensiblemente distinguen, por ejemplo, a la mecánica o la electrodinámica clásicas de la neurología o la literatura comparada. Animados por esta idea algunos autores de mérito se han ensayado en axiomatizar las más diversas disciplinas, desde la embriología (Woodger, 1937) hasta la historia de la ciencia (Balzer, Moulines y Sneed, 1987). No es posible hacer aquí justicia a estos esfuerzos, pero hay que señalar que su influencia práctica ha sido insignificante. Por ejemplo, el reciente manual de biología matemática de Murray (1989) ni siquiera nombra a Woodger. Por cierto, no está probado que las axiomatizaciones propuestas hasta la fecha en biología y ciencias humanas hayan sido óptimas. Pero antes de afanarse en mejorarlas será oportuno reflexionar sobre estas palabras del padre del método axiomático: «Es propio de una persona educada buscar la precisión en cada campo sólo hasta donde la admite la misma naturaleza del asunto» (Aristóteles, *Eth. Nich.* 1094a23-25).

BIBLIOGRAFIA

Aristóteles (1831), *Opera*, G. Reimer, Berlin. 2 vols. Ex recognitione I. Bekkeris edidit Academia Regia Borussica.

Baldus, R. (1928), «Zur Axiomatik der Geometrie. I. Über Hilberts Vollständigkeitsaxiom»: *Mathematische Annalen 100*, 321-333.

Balzer, W., C. U. Moulines y J. D. Sneed (1987), *An Architectonic for Science: The structuralist program*, D. Reidel, Dordrecht.

Bartelborth, P. (1988), *Eine logische Rekonstruktion der klassischen Elektrodynamik*, Peter Lang, Frankfurt a. M.

Birkhoff, G. y J. von Neumann (1936), «The Logic of Quantum Mechanics»: *Annals of Mathematics 37*, 823-843.

Bolyai, J. (1832), «Appendix scientiam spatii absolute veram exhibens: a veritate aut falsitate Axiomatis XI Euclidei (a priori haud unquam decidenda) independentem», en F. Bolyai, *Tentamen juventutem studiosam in elementa matheseos puræ elementaris ac sublimioris, methodo intuitiva, evidentiaque huic propria, introducendi*, Tomus primus, J. et S. Kali, Maros Vasarhely.

Bostock, D. (1974), *Logic and Arithmetic: Natural Numbers*, Clarendon Press, Oxford.

Bourbaki, N. (1970), *Théorie des ensembles*, Hermann, Paris.

Bunge, M. (1967), *Foundations of Physics*, Springer, Berlin.

Bunge, M. (1974), *Method, Model and Matter*, D. Reidel, Dordrecht.

Cohen, P. J. (1963-64), «The independence of the continuum hypothesis»: *Proceedings of the National Academy of Sciences 50*; 1143-1148; *51*; 105-110.

Cohen, P. J. (1966), *Set Theory and the Continuum Hypothesis*, W. A. Benjamin, New York.

Descartes, R. (1641), *Meditationes de prima philosophia*, en R. Descartes, *Œuvres*, Cerf, Paris, vol. 7, ed. por C. Adam y P. Tannery.

Einstein, A. (1905), «Zur Elektrodynamik bewegter Körper»: *Annalen der Physik* (4) *17*, 891-921.

Einstein, A. (1934), *Mein Weltbild*, Querido Verlag, Amsterdam, 2.ª ed.

Einstein, A. y M. Grossmann (1913), *Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation*, Teubner, Leipzig.

Euclides, *Elementa*, Teubner, Leipzig, 5 vols., ed. I. L. Heiberg.

Fraenkel, A. A. (1922), «Zu den Grundlagen der Cantor-Zermeloschen Mengenlehre»: *Mathematische Annalen 86*, 230-237.

Frege, G. (1879), *Begriffschrift, eine der arithmetisch nachgebildeten Formelsprache*, Louis Nebert, Halle a.S.

Frege, G. (1893), *Grundgesetze der Arithmetik, begriffschriftlich abgeleitet*, I. Band, Olms, Hildesheim. Reproducción facsimilar de la primera edición publicada en Jena en 1893.

Freudenthal, H. (1974), «The impact of von Staudt's foundations of geometry», en R. S. Cohen *et al.* (eds.), *For Dirk Struik*, D. Reidel, Dordrecht, 189-200.

Galileo Galilei (1638), *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze attenenti alla Mecanica & i Movimenti Locali*, Appresso gli Elsevirii, Leida.

Galileo Galilei (1966), *Le Opere*, G. Barbera, Firenze, 20 vols., Nuova ristampa della Edizione Nazionale.

Gähde, U. (1983), *T-Theorizität und Holismus*, Peter Lang, Frankfurt a. M. /Bern.

Gentzen, G. (1934), «Untersuchungen über das logische Schliessen»: *Mathematische Zeitschrift 39*, 176-210, 405-431.

Gödel, K. (1930), «Die Vollständigkeit der Axiome des logischen Funktionenkalküls»: *Monatshefte für Mathematik und Physik 37*, 349-360.

Gödel, K. (1931), «Über formal unentscheidbare Sätze der *Principia Mathematica* und verwandter Systeme»: *Monatshefte für Mathematik und Physik 38*, 173-198.

Gödel, K. (1938), «The consistency of the Axiom of Choice and the Generalized Continuum Hypothesis»: *Proceedings of the National Academy of Sciences 24*, 556-557.

Gödel, K. (1939), «Consistency-proof for the Generalized Continuum Hypothesis»: *Proceedings of the National Academy of Sciences 25*, 220-224.

Gödel, K. (1940), *The Consistency of the Axiom of Choice and of the Generalized Continuum Hypothesis with the Axioms of Set Theory*, Princeton University Press, Princeton.

Herbrand, J. (1929), «Non-contradiction des axiomes arithmétiques»: *Comptes rendus de l'Académie des Sciences 188*, 303-304.

Hilbert, D. (1922), «Neubegründung der Mathematik. Erste Mittheilung»: *Abhandlungen aus dem Mathematischen Seminar der Hamburgischen Universität 1*, 157-177.

Hilbert, D. (1923), «Die logischen Grundlagen der Mathematik»: *Mathematische Annalen 88*, 151-165.

Hilbert, D. (1899), «Grundlagen der Geometrie», en *Festschrift zur Feier der Enthüllung des Gauss-Weber-Denkmals in Göttingen*.

Jaśowski, S. (1934),«On the rules of supposition in formal logic»: *Studia Logica*, *1*, 5-32.

Lobachevsky, N. I. (1829-30), «O nachalakh geometrii»: *Kasanski Vestnik*, marzo 1829, 178-87; abril 1829, 228-41; nov.-dic. 1829, 227-243; marzo-abril 1830, 251-283; julio-agosto 1830, 571-636.

Lobachevsky, N. I. (1898-99), *Zwei geometrische Abhandlungen*, Teubner, Leipzig, 2 vols. Traducido del ruso al alemán, con notas y una biografía del autor, por F. Engel.

Ludwig, G. (1970), *Deutung des Begriffs «physikalische Theorie» und axiomatische Grundlegung der Hilbertraumstruktur der Quantenmechanik durch Hauptsätze des Messens*, Springer, Heidelberg (Lecture Notes on Physics, n° 4).

Ludwig, G. (1985), *An Axiomatic Basis for Quantum Mechanics*, Springer, Berlin, 2 vols.

Moulines, C. U. (1975), «A Logical Reconstruction of Simple Equilibrium Thermodynamics»: *Erkenntnis 9*, 101-130.

Moulines, C. U. (1988), «Die Entstehung und Struktur der Axiomatisierung der Mechanik durch I. Newton», en H. Poser y C. Burrrichter (eds.), *Die geschichtliche Perspektive in den Disziplinen der Wissenschaftsforschung*, Technische Universität Berlin, Berlin.

Murray, J. T. (1989), *Mathematical Biology*, Springer, Berlin.

Nagel, E. (1939), «The formation of modern conceptions of formal logic in the development of geometry»: *Osiris 7*, 142-224.

Newton, I. (1687), *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater, Londini.

Pascal, B. (1950), *L'Œuvre de Pascal*, Gallimard, París. Texto establecido y anotado por J. Chevalier.

Pasch, M. (1882), *Vorlesungen über neueren Geometrie*, Teubner, Leipzig.

Peano, G. (1889), *Arithmetices principia nova methodo exposita*, Bocca, Torino.

Peano, G. (1895-1908), *Formulaire des Mathématiques*, Bocca, Torino, 5 vols.

Pieri, M. (1899), «Della geometria elementare come sistema ipotetico-deduttivo; mono-

grafia del punto e del moto»: *Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino, Classe di Sc. Fisiche, Mathematiche e Naturali* (2) *48*, 173–222.
Platón (1.920ss), *Œuvres Complètes*, Société d'Édition Les Belles Lettres, Paris, 13 vols.
Poncelet, J. V. (1822), *Traité des propriétés projectives des figures*, Bachelier, Paris.
Robb, A. A. (1914), *A Theory of Time and Space*, Cambridge University Press, Cambridge.
Rosser, J. B. (1936), «Extensions of some theorems of Gödel and Church»: *Journal of Symbolic Logic 1*, 87–91.
Saccheri, H. (1733), *Euclides ab omni nævo vindicatus: sive Conatus geometricus quo stabiliuntur prima ipsa universæ geometriæ principia*, Ex Typographia Pauli Antoni Montani, Mediolani.
Skolem, T. (1922), «Einige Bemerkungen zur axiomatischen Begründung der Mengenlehre», en *Proceedings of the 5th Scandinavian Mathematical Congress*, Helsinki, pp. 217–232.
Sneed, J. D. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*, D. Reidel, Dordrecht.
Spinoza, B. de (1663), *Renati Des Cartes Principiorum Philosophiæ Pars I, et II, More Geometrico demonstratæ*. Apud Johannem Riewerts, Amstelodami.
Spinoza, B. de (1677), *Ethica Ordine Geometrico demonstrata*, en B. D. S., *Opera Posthuma*. Apud Johannem Riewerts, Amstelodami.
Stachel, J. (1986), «Do Quanta Need a New Logic?», en R. G. Colodny, (ed.), *From Quarks to Quasars: Philosophical Problems of Modern Physics*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, 229–347.
Stegmüller, W. (1973a), *Theorie und Erfahrung. Zweiter Halbband. Theorienstrukturen und Theoriendynamik*, Springer, Berlin.
Stegmüller, W. (1986), *Theorie und Erfahrung. Dritter Teilband. Die Entwicklung des neuen Strukturalismus seit 1973*, Springer, Berlin.
Torretti, R. (1990), *Creative Understanding: Philosophical Reflections on Physics*, University of Chicago Press, Chicago.
Whitehead, A. N. y B. Russell (1910–13), *Principia Mathematica*, Cambridge University Press, Cambridge, 3 vols.
Woodger, J. (1937), *Axiomatic Method in Biology*, Cambridge University Press, Cambridge.
Zermelo, E. (1908), «Untersuchungen über die Grundlagen der Mengenlehre I»: *Mathematische Annalen 65*, 261–281.

LA PROBABILIDAD Y LA CAUSALIDAD

Sergio F. Martínez Muñoz

I. INTRODUCCION

Uno de los problemas centrales en la teoría del conocimiento y en la filosofía de la ciencia es la relación entre la probabilidad y la causalidad. La elucidación de esta relación está íntimamente ligada al desarrollo y evaluación de teorías o modelos de la explicación científica, a discusiones acerca del método y la racionalidad en la ciencia, y al planteamiento de una serie de cuestiones metafísicas en la ciencia moderna. La elaboración de un nexo profundo entre los conceptos de causa y probabilidad principia con la revolución científica del siglo XVII y ha continuado como parte de la consolidación de los presupuestos filosóficos que han guiado el desarrollo de la ciencia y la filosofía desde entonces. En esta introducción daremos un breve resumen de la historia de los conceptos de causa y probabilidad. Ambos conceptos tienen una venerable historia y hacer ver aspectos importantes de esta historia nos parece necesario para dar una presentación que no prejuzgue de entrada la relación que se da entre la causalidad y la probabilidad.

Ya en Aristóteles se encuentra la noción de *endoxos* (que coincide en gran medida con la noción medieval de *probabilis*) utilizada para referirse a un tipo de creencias que dependía de la información del sujeto. Se encuentra además en Aristóteles el concepto de una «regla general», tomada de la medicina, con la que se hace referencia a aquello que ocurre en la mayoría de los casos. La elaboración de estas ideas por los escépticos resulta en una serie de distinciones de niveles cualitativos de creencias que son consideradas como el punto de partida para cualquier decisión en la vida práctica (cf. Byrne, 1968) y que constituyen el origen del concepto de probabilidad tal y como lo conocemos hoy. Por otra parte, debates filosóficos acerca del concepto de causalidad se encuentran ya entre los filósofos presocráticos. Aristóteles sintetiza una larga tradición cuando distingue cuatro diferentes tipos de causa (razones o principios explicativos). El rechazo de la identificación de principios explicativos y causas es una de las características más distintivas de la «revolución científica» que tiene lugar alrededor del siglo XVII. Este rechazo se encuentra estrechamente vinculado a una de las constantes distintivas de la ciencia moderna, el énfasis en la búsqueda de mecanismos como principios explicativos.

Una de las intuiciones básicas de la noción moderna de causa es que de alguna manera la causa necesita sus efectos. Supongamos que yo golpeo la puerta con mis nudillos, es de esperar (en condiciones normales) que un sonido típico va a ocurrir como consecuencia. Similarmente, si suelto un objeto pesado en el aire esperamos que se irá rápidamente al suelo. Hay una gran cantidad de teorías filosóficas que tratan de elaborar esta intuición central del concepto de causa, la intuición de que una relación causal (una relación entre una causa y su efecto) involucra una conexión necesaria. A partir de Hume, sin embargo, estas teorías se consideran muy sospechosas y por lo menos no dignas de formar parte de un programa empirista. Hume arguye que no es posible inferir racionalmente la existencia de una conexión necesaria entre causa y efecto y considera que todo lo que estamos justificados a decir es que una relación causal es una sucesión que ejemplifica una regularidad (caracterizada por las propiedades de contigüidad, prioridad temporal y conjunción constante). Hay muchos problemas con esta propuesta. La luz se prende generalmente si presiono el interruptor, pero esto no sucede cuando hay una mala conexión o no hay electricidad. Este problema del enfoque humeano se denomina con frecuencia el *problema de la dependencia del contexto*. Otro problema con el enfoque de Hume es el *problema de la causa común*. Los efectos de una causa común van a estar regularmente unidos sin que uno cause el otro. La explosión de una bomba en una ciudad causa que se rompan muchos vidrios y que tiemble el suelo, pero que se rompan los vidrios no causa que tiemble el suelo. El problema consiste en distinguir el caso de una relación de conjunción constante que es el resultado de una causa común y el caso en que se trata de una relación genuina de causa y efecto. Finalmente, otro problema central para la teoría de Hume es el problema de la «similaridad», examinado en detalle por Russell, y que en la actualidad se conoce más por el nombre de *problema de la ambigüedad*. Muchas veces la noción de causa se aplica en el lenguaje científico a sucesos singulares. Un tipo de problemas muy importante para el desarrollo de nuestra concepción de causa proviene de preguntas en la medicina como: ¿qué queremos decir con «causa de muerte» y cómo clasificamos las causas de muerte para escribir un certificado de defunción? Independientemente de la solución que le demos a este tipo de problemas (ampliamente debatidos en el siglo XIX) es claro que queremos aplicar la noción de «causa de muerte» a individuos concretos. Queremos responder preguntas como ¿de qué murió Juan? y sólo posteriormente hacer estadísticas. De otra manera las estadísticas correrían el

riesgo de ser tan arbitrarias como las zoologías fantásticas de la antigüedad. Supongamos que Juan murió de un disparo al corazón. ¿Cómo podríamos formular este simple enunciado en la teoría de Hume? Hume y muchos filósofos después de él han tratado de responder a este problema diciendo que la relación causal se establece entre cosas similares. El disparo en el corazón fue la causa de la muerte si la muerte fue immediatamente posterior al disparo y disparos similares (disparos al corazón) tienen siempre como consecuencia la muerte del que los recibe. Para explicar la muerte de Juan, Hume reformularía el contenido epistémico de enunciados singulares causales (enunciados que describen una relación de causa y efecto entre sucesos singulares) en términos de una sucesión constante de tipos de sucesos. Russell fue el primero en recalcar la importancia de la dificultad de definir la noción de similaridad requerida por la teoría de Hume. ¿Cuándo decimos que dos disparos al corazón son similares? ¿Cuando entran en el mismo ángulo y penetran en la misma región del corazón y son disparados con una pistola del mismo tipo? Esto no sería suficiente para establecer que *siempre* un disparo al corazón sea seguido de la muerte de individuos similares a Juan. Podría ser que Juan (o una persona similar a Juan) se hubiera muerto un segundo antes del disparo de un ataque al corazón. O podría ser que el hermano gemelo de Juan no se muriera de recibir el tipo de disparo que mató a Juan porque este hermano gemelo podría estar conectado a un corazón artificial.

La teoría de Hume requiere que reinterpretemos un enunciado causal singular como refiriéndose a una clase de relaciones entre sucesos similares. El problema es que es ambigua con respecto a qué clase se tendría que evaluar para el enunciado causal singular. Si en el caso de Juan incluímos en la clase pertinente a su hermano conectado a un corazón artificial entonces deberíamos concluir que el disparo no es la causa de su muerte. La intuición de Hume en este punto es que deberíamos referir un enunciado causal a una clase *pertinente*. El gran problema es cómo elucidar esta noción de pertinencia. Si decimos que la clase de referencia (que incluye todos los sucesos similares que queremos tomar en cuenta) debe incluir todos los sucesos causalmente pertinentes (y no otros) introducimos una definición circular.

Los problemas de la teoría de Hume son muchos y están en gran medida todavía con nosotros como problemas de la filosofía contemporánea. Es importante recalcar, sin embargo, que una de las contribuciones más relevantes de la filosofía de Hume para la filosofía posterior fue el planteamiento del papel central de la relación entre causalidad y probabilidad para la epistemología. Antes de Hume había por una parte «probabilidad» *(probabilis)* en el sentido de opinión, y «ciencia» o *episteme*, esto es, conocimiento cierto. Estos dos tipos de creencia eran considerados cualitativamente diferentes. Esta idea persiste en Hume, pero él ya toma en serio la idea de que las probabilidades a través de la acumulación de evidencia pueden llevarnos gradualmente al conocimiento, y ésta es una tesis central para su proyecto epistemológico. Así, según Hume, todos los razonamientos acerca de cuestiones de hecho se basan en la relación de causa y efecto, y esto requiere que elucidemos la noción de causa. Sin embargo, no hay ningún argumento racional que nos lleve de la causa al efecto, y por tanto se plantea el problema de cuál es la base empírica de la creencia en relaciones de causa y efecto. La probabilidad para Hume consistiría precisamente en la teoría que serviría como el nexo entre la definición de causa como conjunción constante a la que ha sido llevado por su análisis naturalista y la evidencia empírica de conjunciones casi constantes.

Hume no desarrolla esta idea, y las interpretaciones tradicionales de Hume ignoran esta sugerencia en la filosofía de Hume que sólo va a ser retomada por la filosofía en el siglo XX. El desarrollo de la idea de Hume requiere el desarrollo de un cálculo cuantitativo de las probabilidades que si bien parece no haber sido conocido directamente por Hume, empezó a desarrollarse a finales del siglo XVI.

Concluimos esta sección mencionando brevemente otros intentos por definir el concepto de causa. El mismo Hume, inmediatamente despues de formular su famosa definición de causa en términos de sucesión constante (sección vii de la *Investigación acerca del entendimiento humano*) sugiere otra definición de causa muy diferente pero que él parece considerar como una manera de decir lo mismo: «Si el primer objeto no hubiera sido, el segundo nunca hubiera existido». Esta definición contrafáctica ha sido desarrollada recientemente por una serie de autores. El *locus* clásico de este tipo de propuestas es Lewis (1973, reimpreso en Lewis, 1986). Hay también una serie de teorías que parten de la intuición de que el concepto de causa debe analizarse en términos de condiciones necesarias y/o suficientes para la ocurrencia de un suceso. Una de las propuestas más elaborada de este tipo es la de J. L. Mackie (1974). Este libro ofrece también un estudio detallado de otras propuestas similares. Finalmente están todas aquellas teorías de la causalidad en las que no se acepta que una relación causal sea reducible a regularidades. Ducasse (1924), Cartwright (1983 y 1989), Woodward (1986), son una muestra de propuestas de este tipo. Finalmente, hay también intentos como el de Russell de mostrar que los filósofos han sido vagos e inconsistentes en su uso del concepto de causa y que lo mejor es evitar su uso por completo. Me parece que Ducasse tiene razón cuando en 1924 opina que la oposición de Russell a las discusiones filosóficas del concepto de causa se basan en una confusión entre el concepto de causa que está en discusión y la noción de ley empírica como conjunción constante.

El señalamiento de esta confusión está en el fondo de una serie de planteamientos modernos acerca de la relación entre causalidad y explicación. Torretti formula claramente el origen de la confusion (1991, 270):

> Hay una tendencia en filosofía a considerar los diversos estados de un proceso [gobernado por una ecuación diferencial] como constituyendo una cadena causal en la que los estados sucesivos están unidos uno con otro como causa y efecto. Esta tendencia no generaría problemas si aquellos que la siguen se abstuvieran de usar el término «causa» en su sentido precientífico ordinario. Tal abstinencia, sin embargo, va contra su fin, que consiste precisamente en presentar las ecuaciones diferenciales de la física matemática como el medio apropiado para comprender las conexiones causales en la naturaleza. (Traducción mía.)

II. LA TEORIA MATEMATICA DE LA PROBABILIDAD

La revolución científica del siglo XVII es sobre todo el principio de una manera de hacer ciencia basada en un nuevo ideal de objetividad que asume que la tarea de la ciencia es el descubrimiento de «mecanismos», y no de los principios causales o «principios activos» que son en última instancia responsables de los procesos naturales pero que están fuera del alcance de nuestro intelecto. En la tradición aristotélica, los límites de nuestra percepción son los límites de nuestras capacidades cognitivas. Lo que no podemos percibir con nuestros sentidos está fuera del alcance del conocimiento científico. Para la filosofía natural del siglo XVII, más allá de nuestra percepción sensorial hay mecanismos inteligibles que constituyen el punto de partida objetivo de las teorías científicas. Pero así como un reloj de cuerda puede tener la misma carátula que un reloj de péndulo, los intentos por descubrir los mecanismos subyacentes en los fenómenos naturales sólo pueden ser confiables hasta cierto punto. Los filósofos naturales comparten con los jueces, los mercaderes y los aficionados a juegos de azar, el problema de decidir en circunstancias de incertidumbre. El cálculo de probabilidades surge como un intento por cuantificar esta incertidumbre y por formular claramente el sentido de la antigua creencia escéptica de que «la probabilidad es la guía en la vida».

Jakob Bernoulli es el primero de una serie de matemáticos que tratan de reducir «el arte de la conjetura» a un cálculo matemático. El teorema de Bernoulli (publicado en 1713) es el primer intento por relacionar las probabilidades con frecuencias observadas de sucesos en casos en donde no es plausible asumir que todos los casos posibles son igualmente probables. Esto libera al cálculo de las probabilidades de su asociación con juegos de azar y permite la aplicación del cálculo a situaciones de interés científico y filosófico. En notación moderna, Bernoulli demostró el siguiente teorema:

$$\lim_{n\to\infty} P(|p-m/n|<\epsilon)=1, \text{ para } \epsilon \text{ tan pequeño como se desee,}$$

donde p = proporción «verdadera»
n = número de pruebas
m/n = la proporción observada.

El teorema de Bernoulli asume que la probabilidad *a priori p* se conoce. Nos permite computar el número de observaciones requeridas para hacer que la probabilidad de *m/n* esté en el intervalo $[p - \in, p + \in]$ con una cierta probabilidad. Bernoulli parece haber creído que su teorema podía constituirse en un método para resolver el problema de la inferencia, esto es, el problema de encontrar la probabilidad de la conjetura que *m/n* es igual a una probabilidad desconocida *p*, «la probabilidad inversa», dada una razón observada de *m/n*. Este problema, sin embargo sólo fue resuelto por Bayes y posteriormente por Laplace con mayor generalidad, si bien el significado de esta solución es todavía hoy el problema central en la teoría de la inferencia estadística.

Laplace, en su trabajo de 1774 *De la probabilité des causes* y en una serie de escritos posteriores, y en particular en su famoso tratado de 1814 sobre las probabilidades, propone por primera vez un método general para estimar *las probabilidades de las causas* de un suceso observado. Éste es el inicio de toda una tradición en los fundamentos de la ciencia de concebir el concepto de causa como íntimamente ligado al concepto de probabilidad, y que está muy alejada de la noción de causa presupuesta por muchos filósofos aún en la actualidad. La idea básica detrás del método de Laplace es simple: el uso del teorema de Bayes con una distribución inicial uniforme sobre las causas. Laplace concibió el problema de las probabilidades inversas como un tipo especial de promedio: si un suceso puede ser el resultado de *n* causas diferentes, la probabilidad de que en un caso específico se deba a una causa C_m es igual a la probabilidad de E dada C_m dividida por la suma de las *n* probabilidades condicionales de E dado C_i :

$$P(C_m/E)=P(E/C_m)/\Sigma_i P(E/C_i)$$

Ésta es la formulación del teorema de Bayes por Laplace. Laplace utiliza esta fórmula como punto de partida para un análisis detallado de las consideraciones probabilistas de una situación dada que nos permite inferir si lo dado es el resultado de la aplicación de una causa (o sistema de causas) *constante*, o si por el contrario lo dado se explica simplemente como el resultado de una serie de fluctuaciones azarosas que típicamente provendrían de errores en la medición. El trabajo de Laplace en astronomía es una aplicación de este método. Laplace utilizó este método para inferir que las irregularidades de los movimientos de Júpiter y de Saturno eran producto de su interacción mutua, así como para formular su teoría de las mareas y para resolver otra serie de problemas que constituyen el núcleo de la corroboración empírica del programa newtoniano de la mecánica celeste en el siglo XIX. Una vez que Laplace hizo ver la utilidad de su método en la mecánica celeste pasó a hacer ver la importancia de este método en otra serie de disciplinas científicas. La diversidad de las aplicaciones consideradas por Laplace puede apreciarse en su famoso prefacio a su tratado de 1814. Laplace aquí recalca la importancia de la posibilidad de aplicar su método a las «ciencias morales» y da una serie de ejemplos que están íntimamente ligados al desarrrollo de la interpretación clásica de las probabilidades (la posibilidad de analizar matemáticamente los testimonios en un juicio, por ejemplo).

El trabajo de Laplace se ha desarrollado a lo largo de líneas muy diferentes de investigación en el siglo XX. Uno de estos desarrollos es el tema de las teorías probabilistas de la causalidad que presentaremos en el apartado IV. Otras líneas de desarrollo que se basan en el trabajo de Laplace son el programa bayesiano en inferencia estadística y una serie de modelos en la teoría de las decisiones. Un libro reciente de inspiración laplaciana es el de Suppes (1984).

III. EXPLICACION, CAUSALIDAD Y PROBABILIDAD

El problema de encontrar un modelo filosófico satisfactorio de la explicación científica es uno de los grandes temas de la filosofía contemporánea de la ciencia. Cuando se formuló por primera vez explícitamente un modelo de la explicación científica, en un famoso trabajo de Hempel y Oppenheim en 1948, se asumía implícitamente que el mundo era determinista y se asumía que las explicaciones eran argumentos. Estas dos suposiciones han sido expuestas y severamente criticadas en una serie de trabajos posteriores. Por un lado la filosofía fue tomando conciencia de la importancia de las implicaciones filosóficas de la mecánica cuántica y de otras teorías científicas que parecen describir un mundo no determinista que incluye descripciones probabilistas irreducibles. De alguna manera las probabilidades parecen ser parte esencial de una descripción correcta del mundo en que vivimos. Por otra parte, la suposición de que las explicaciones son (o pueden reconstruirse como) argumentos confronta una serie de problemas. Es de destacarse el problema que las explicaciones tienen un orden temporal mientras que los argumentos no. Un eclipse puede deducirse de ciertas leyes astronómicas y de ciertas condiciones iniciales. Pero sólo en el caso de que las condiciones iniciales antecedan al eclipse hablamos de una explicación. En 1965, Hempel presenta un modelo de explicación estadística. Hempel requiere que una explicación estadística-inductiva, lo que él llama una explicación IS, sea un argumento inductivo que haría el *explanandum* (el enunciado a explicar) predecible con alta probabilidad inductiva, dado el *explanans* (las premisas del argumento-explicación). Es fácil encontrar argumentos inductivos con premisas compatibles cuyas conclusiones se contradicen mutuamente. A esta propiedad de los argumentos inductivos, Hempel la llamó «la ambigüedad de la explicación estadística». Hempel resolvió el problema de la ambigüedad requiriendo que las explicaciones inductivas sean relativas a clases de referencia. Este modelo es insatisfactorio por una serie de razones. Una de las críticas más contundentes es la de Alberto Coffa (1974). Coffa muestra que la relativización epistémica de las explicaciones inductivas a clases de referencia no permite entender el sentido en que un argumento inductivo es una explicación. Esto hizo ver muy claramente que argumentos inductivos no podían resolver un problema básico para cualquier candidato a modelo de la explicación.

Críticas al modelo estadístico-inductivo de Hempel y a otros similares llevaron a muchos filósofos a la conclusión de que era necesario introducir algún tipo de postulado causal para formular un modelo de la explicación estadística. La íntima relación entre causalidad y explicación ha sido recalcada en una serie de trabajos de Wesley Salmon.

Salmon (elaborando una idea de Reichenbach) parte del análisis de la relación causal implícito en la física contemporánea (en la teoría de la relatividad especial en particular). El ejemplo paradigmático de Salmon es el proceso causal típico de la teoria de la relatividad especial: un rayo de luz. Según esta teoría, ninguna cosa puede viajar a mayor velocidad que la luz. Pero, ¿a qué se refiere este enunciado? Indudablemente que se refiere a objetos materiales como bolas de billar, planetas, fotones etc. Pero no se refiere a las sombras por ejemplo. Las sombras pueden viajar a cualquier velocidad. La luz de un reflector giratorio que cae sobre una pared puede viajar a cualquier velocidad. Todos estos ejemplos, como Salmon hace notar, comparten la propiedad de que son incapaces de transmitir mensajes. Esta observación es el punto de partida de Salmon para formular una distinción entre *procesos causales* y *pseudo-procesos.* Los procesos causales, pero no los pseudo-procesos pueden ser marcados y transmitir la marca. Otro concepto central de la teoría de Salmon es el de *interacción causal.* Las interacciones causales ocurren cuando un proceso causal intersecta a otro produciendo una modificación en su estructura.

Una explicación científica para Salmon consiste en citar por lo menos una parte de los procesos e interacciones causales que resultan en el suceso que queremos explicar. Nótese que para Salmon la explicación de un tipo (clase) de relación causal es derivativa. La teoría de Salmon es en primer lugar un modelo que explica procesos causales singulares.

No es difícil aceptar que Salmon ha logrado con su teoría capturar una serie de aspectos importantes del concepto de causalidad tal y como este concepto surge en la mecánica clásica y el electromagnetismo. Pero parece realmente dudoso que Salmon pueda capturar con su modelo una serie de explicaciones causales que se alejan de su paradigma. Sin ir muy lejos, el tipo de explicación que se da en la teoría general de la relatividad de por qué una partícula se mueve de la manera como lo hace no hace referencia a un mecanismo de transferencia de marcas sino a la *estructura* (afín y métrica) del espacio-tiempo. Y un poco más lejos, un tipo de explicaciones que Salmon reconoce que escapan a su modelo son las explicaciones de correlaciones distantes que la mecánica cuántica predice y que han sido corroboradas empíricamente. Estas correlaciones no son meramente un tipo muy especial de interacción que no parece adecuarse al modelo de Salmon (como Salmon ha sugerido en varias oportunidades). Este tipo de correlaciones cuestiona el punto de partida mismo del modelo de Salmon, la distinción entre procesos causales y

pseudo-procesos. El modelo de Salmon confronta una serie de problemas en otras áreas de la física. Una serie de artículos críticos del modelo de Salmon y de propuestas alternativas pueden encontrarse en Kitcher y Salmon (1989). Una vez que nos alejemos de la física las dificultades con la teoría de Salmon son todavía más aparentes. Uno de los temas centrales en la biología moderna es el tema de la causalidad implícita en procesos evolutivos. Si bien hay una gran controversia al respecto, es claro que sea cual sea el resultado de la controversia, la noción de causalidad en juego tiene poco que ver con los procesos causales a lo Salmon (cf. por ejemplo, Sober, 1984).

IV. TEORIAS PROBABILISTAS DE LA CAUSALIDAD

La condición de conjunción constante en la teoría humeana de la causalidad implica que la probabilidad del efecto dada la causa es máxima: $P(E/C)=1$. En donde E representa el efecto, C la causa y $P(E/C)$ la probabilidad condicional de E dado C definida por la fórmula $P(E/C)=P(E/C)/P(C)$. $P(X)$ representa la probabilidad del suceso X. Como el mismo Hume lo reconoce, la mayoría de veces sólo tenemos una conjunción constante aproximada. El problema que se plantea entonces a todo filósofo que siga las prescripciones epistemológicas de Hume es explicar el concepto de causa a partir de conjunciones constantes imperfectas. En esta sección nos interesa presentar una serie de propuestas que tratan de incorporar, en la discusión del problema filosófico acerca de la naturaleza de la causalidad, los desarrollos de la teoría matemática de la probabilidad y su aplicación como método para el establecimiento de causas (un tema que hemos bosquejado en el apartado II). En este contexto de ideas, Suppes (1970) sugiere una estrategia atractiva. Suppes parte de la intuición central que guía el método probabilista para la detección de causas, que la causa debe de aumentar la probabilidad del efecto, esto es $P(E/C)>P(E)$. Una manera simple de ver que esta condición por sí sola no puede caracterizar una relación causal es notar que esta relación es simétrica. Si $P(E/C)>P(E)$ entonces se sigue como una mera consecuencia de la definición de probabilidad condicional que $P(C/E)>P(C)$. Si queremos caracterizar una relación causal en términos de probabilidades es necesario entonces agregar condiciones adicionales. El núcleo de la teoría de Suppes puede resumirse en las siguientes tres condiciones.

C causa E si y sólo si:

i) $P(E/C)>P(E)$

ii) No hay un suceso F tal que $P(E/CF)=P(E/F)$

iii) C precede temporalmente a E.

La condición (ii) es la condición de filtrado de una causa común. La condición (iii) postula la asimetría requerida para distinguir la causa del efecto. Estas condiciones no son del todo inofensivas. Supongamos por ejemplo que un suceso B causa C y además que P(A/BC)=P(A/C). Por ejemplo, la estricnina causa que el corazón se detenga, por lo que la probabilidad de muerte *dado* que el corazón se detiene y suficiente estricnina es la misma que la probabilidad de muerte *dada* suficiente estricnina. Esta conclusión es problemática porque si un suceso anterior determina completamente un suceso posterior entonces todos los sucesos intermedios tendrían que ser considerados como causalmente ineficaces. Pero no parece correcto considerar al hecho que el corazón se detiene como una mera causa aparente de muerte.

Un problema más de fondo en la propuesta de Suppes tiene que ver con el problema de la ambigüedad. El problema surge cuando se intenta explicar el contenido epistémico de una relación causal singular en términos de regularidades casi-constantes. Esto requiere que la relación causal singular se refiera a una clase de [relaciones entre] sucesos similares. El problema es que no parece posible encontrar un criterio no arbitrario para decidir con respecto a qué clase vamos a evaluar el contenido epistémico de la relación causal singular. Con respecto a una clase de referencia podemos llegar a concluir que hay una relación causal, pero con respecto a otra podemos llegar a concluir que no la hay. La teoría de Suppes afronta este problema de manera particularmente aguda. En primer lugar está el problema de decidir si una teoría probabilista de la causalidad se refiere a sucesos singulares o si se refiere a sucesos generales (tipos de sucesos). La muerte de Juan de un balazo al corazón es un suceso singular (localizable en un punto del espacio-tiempo). La muerte de seres humanos por balazos al corazón es un suceso general (un tipo de suceso). La relación entre enunciados causales singulares y enunciados causales generales no es simple. Esto es el núcleo del problema de la ambigüedad. Del hecho de que en general un balazo en el corazón cause la muerte no se infiere que Juan murió de un balazo en el corazón, pudo haber muerto un segundo antes de un susto. Y del hecho de que María se murió de un ataque al corazón mientras daba un paseo por el bosque no se sigue que dar paseos por el bosque sea dañino para la salud. Suppes afirma que el formalismo de su teoría se refiere tanto a sucesos generales como a sucesos singulares. Según él, el formalismo puede interpretarse como aplicándose a ambos tipos de sucesos. De ser esto cierto el problema de la ambigüedad se disolvería. Podríamos pensar que las distinciones arriba mencionadas son importantes para entender psicológicamente la situación, pero que el análisis causal es independiente de si estamos refiriéndonos a sucesos singulares o a sucesos generales. Suppes posteriormente ha argüido que la ontología de sucesos es inadecuada para la formulación de una teoría de la causalidad y que el análisis debe formularse en términos de «variables causales». Esta postura simplemente evita el problema filosófico. El problema no es simplemente si los sucesos son o no una ontología adecuada (estoy de acuerdo con Suppes en que muchas veces no lo son). El problema es en el fondo el lugar que ocupa la información estadística como evidencia empírica para una teoría de la causalidad.

La ambigüedad en la interpretación del formalismo (aplicada a sucesos o procesos o cualquier otro tipo de ontología que sea sensible a la distinción que hay que hacer entre dos tipos de entes) no puede sostenerse. La causación entre sucesos singulares es obviamente transitiva, asimétrica y no reflexiva. Pero la relación causal entre eventos generales no es asimétrica ni transitiva. La tensión tiende a causar problemas psicológicos y los problemas psicológicos tienden a causar tensión. Un disparo en el corazón causa que el corazón se pare y que el corazón se pare causa la muerte, pero un disparo en el corazón no necesariamente causa la muerte. Contrario al deseo de Suppes parece ser que su teoría puede interpretarse solamente como una teoría de la causalidad de sucesos generales. Pero entonces, ¿cuál es la relación entre la causalidad singular y la causalidad general? De alguna manera una teoría de la causalidad general tiene que conectarse con enunciados singulares causales. El problema sería cómo. No sólo nos interesa decir que el sida causa la muerte, nos interesa *entender* este enunciado en terminos de las circunstancias biológicas de individuos concretos que pueden contraer la enfermedad.

Esta restricción de una teoría probabilista de la causalidad a sucesos generales genera una serie de problemas relacionados con la interpretación de la condición (iii) de prioridad temporal. La relación de prioridad temporal es clara si nos referimos a sucesos singulares que tienen un índice temporal, pero no es clara cuando nos referimos a sucesos generales. Es posible entender esta idea diciendo que E precede a C si cuando C ocurre entonces E ocurre normalmente. ¿Pero qué queremos decir con «normalmente»? Recordemos que la idea detrás de todas estas teorías de la causalidad es que la causalidad es una relación objetiva, pero la «normalidad» no puede sino referirse a nuestra limitada experiencia y no necesariamente tiene que ver con lo que es objetivamente el caso. Es posible responder a estos problemas afinando la teoría de Suppes, pero esto nos lleva a otra serie de complicaciones (cf. Salmon, 1984; Eells, 1991). Suppes posteriormente ha argüido que la ontología de sucesos es inadecuada para la formulación de una teoría de la causalidad y que el análisis debe formularse en términos de «variables causales». Desde el punto de vista del problema filosófico relativo a la pregunta del contenido empírico de la relación causal esto es insuficiente. Por otro lado, las teorías de Cartwright y otras teorías probabilistas de la causalidad más recientes toman en cuenta esta idea.

Hay otro problema serio con las propuestas de causalidad probabilista y con la teoría de Suppes en particular. Este problema, conocido como la paradoja de Simpson (después de su «popularización» en Cartwright, 1979) es una versión particularmente ilustrativa del problema del contexto. Esta paradoja fue ejemplificada por Cartwright citando un estudio estadístico acerca de los patrones de admisión en la Universidad de California en Berkeley. El estudio encontró una correlación entre ser admitido y ser hombre. La frecuencia de admisión (durante varios años) entre los hombres que solicitaban entrar a la universidad era mayor que la frecuencia de admisión de las mujeres que solicitaban entrada. Esto por supuesto sugiere discriminación contra las mujeres. Sin embargo, un estudio más a fondo pudo explicar la correlación de manera tal que no implicaba que hubiera discriminación (esto es, que hubiera una relación causal entre ser mujer y tener menos oportunidades de ser admitida). La razón es que las decisiones de admisión son hechas en cada facultad por separado y cuando se investigaron los historiales de admisión por facultad se descubrió que no había en ningún departamento una correlación entre el sexo del solicitante y su admisión. Las mujeres tendían a solicitar entrada a las facultades en las que era más dificil entrar. En promedio, la frecuencia de admisión era menor para mujeres que para hombres, pero eso en todo caso sólo implicaría que las mujeres tenían preferencias distintas que los hombres en promedio. Este análisis parece exonerar a Berkeley de discriminación debido a la partición escogida de la clase de referencia. Si hubiéramos tratado de argumentar que no había discriminación haciendo una partición no por facultades sino sobre la base de la habilidad para patinar, entonces no exoneraríamos a Berkeley del cargo de discriminación. La diferencia reside en nuestro conocimiento previo del contexto causal. Sabemos que solicitar admisión en departamentos de moda es motivo para ser rechazado con facilidad. No estamos dispuestos a aceptar que saber patinar bien sea causa de ser rechazado. El ejemplo ilustra de una manera muy penetrante el problema del contexto. No es suficiente tratar que una partición incluya todos los factores causales, es igualmente importante que la partición no sea tampoco tan fina que genere correlaciones espurias (como en el ejemplo anterior). Pero entonces, sólo las particiones que toman en cuenta las variables causalmente significativas deben de contar en la especificación de una relación causal. Esto nos orilla a la conclusión que sólo una definición circular del concepto de causa es plausible.

Cartwright llega a la misma conclusión anterior después de analizar una serie de contraejemplos en contra de la idea intuitiva de que la causa incrementa la probabilidad de sus efectos. Un famoso ejemplo de este tipo es el siguiente. Generalmente se supone que fumar causa problemas al corazón. Esperamos entonces que la probabilidad de un ataque al corazón sea mayor si se es fumador que si no se es. Esta idea está equivocada. Incluso si es cierto que fumar causa problemas al corazón, la probabilidad de un ataque al corazón no aumentará si fumar va acompañado de una actividad que tiende a prevenir problemas del corazón, como hacer ejercicio regularmente. Su conclusión es que en este ejemplo y en muchos otros que examina la causa falla en incrementar la probabilidad de sus efectos porque en la situación descrita la causa esta correlacionada con otro factor causal que domina en sus efectos. Esto sugiere que la condición (i) en la teoría de Suppes tiene que modificarse de tal manera que tome en cuenta sólo las situaciones (contextos causales) en los que tales correlaciones con factores causales ocultos a la situación no estén presentes. Esto lleva a Cartwright (1979) a formular una teoría en

la que «C causa E» si y sólo si C aumenta la probabilidad de E en cada situación que es causalmente homogénea con respecto a E. El problema central de Cartwright consiste en explicar qué entiende por «homogeneidad causal». Esto es más fácil explicarlo si hacemos un poco más explícita la condición que constituye el núcleo de su teoría:

(CC) C causa E si y sólo si $P(E/CF)>P(E/F)$ donde F es cualquier factor causal alternativo.

Por «factor causal alternativo» se entiende cualquier suceso que causa E o no-E excluyendo a C o a los efectos de cualquier combinación de estos sucesos. La teoría de Cartwright se restringe explícitamente a formular una teoría de sucesos generales.

Cartwright abandona el objetivo de Hume y de Suppes, la *definición* del concepto de causa (de la clase de enunciados causales). La teoría de Cartwright es circular y no puede dar una respuesta al problema de Hume, como ella lo reconoce. Su teoría debe verse más bien como una teoría empírica acerca de la «relación causal». De esta manera no es sorprendente que la definición sea circular. Hay muchas definiciones en la ciencia que son circulares, por ejemplo la definición de masa en la física clásica. La teoría de Cartwright no está libre de problemas, sin embargo, y (como una serie de críticas han hecho ver) es necesario agregar una serie de condiciones cada vez más complicadas para caracterizar la noción de «homogeneidad causal». La teoría de Cartwright tiene tambien una serie de consecuencias inaceptables o por lo menos contra-intuitivas. Por ejemplo, la probabilidad de muerte de un ser humano es una con o sin un balazo en el corazón. Por tanto la teoría de Cartwright implicaría que la muerte no tiene causas (ya que en este caso la probabilidad de muerte E dado un balazo en el corazón F es $P(E/CF) \not> P(E/F)$, para cualquier C).

Laplace no tendría problema con la conclusión anterior. Para él (y sobre todo para Cournot) la vida de un individuo está fijada por las leyes eternas e inmutables que rigen el universo y lo único que se afecta a lo largo de la vida es la esperanza de vida. Las verdaderas causas son para Laplace las leyes universales de las que los sucesos de la experiencia se siguen necesariamente (en el sentido que se derivan matemáticamente de ellas). Pero si no aceptamos la hipótesis de un determinismo tan férreo tal conclusión es inaceptable.

En 1989 (y en algunos artículos anteriores) Cartwright modifica su teoría de manera tal que las relaciones causales generales no pueden entenderse independientemente de relaciones causales singulares. Esto la lleva naturalmente a tener que introducir algún tipo de análisis de enunciados causales singulares. En estos últimos trabajos, Cartwright no sólo acepta la idea de Sober y Salmon (entre otros) de que la ciencia necesita una noción separada de ley causal sino que considera que hay que ir más allá y postular el concepto de «capacidad».

Eells en 1990 ofrece una solución alternativa a las dificultades del proyecto de una teoría probabilista de la causalidad. Eells sostiene que es necesario introducir dos teorías de la causalidad totalmente separadas, una para la causalidad singular y otra para la causalidad general. Según Eells la comparación de probabilidades condicionales (cómo en la teoría de Suppes) es apropiada para entender la causalidad general pero no lo es para entender la causalidad singular. Para desarrollar una teoría de la causalidad singular —nos dice Eells— debemos ver cómo cambia la probabilidad del suceso que se toma como el efecto en la vecindad temporal del suceso que se considera la causa (y en los tiempos intermedios entre el efecto y la causa). Intuitivamente, Eells trata de poner a vivir bajo el mismo techo a las teorías de Cartwright y de Salmon.

V. CONCLUSION

Es claro que el objetivo de Hume de dar una definición del concepto de causa sin suposiciones metafísicas ha quedado atrás. Las teorías contemporáneas de la causalidad incorporan cada vez más abiertamente suposiciones metafísicas. No veo nada de malo en esto. Hume simplemente estaba equivocado cuando pensó que se podía definir la causalidad sin recurrir a supuestos metafísicos. Sospecho sin embargo que detrás de todas estas teorías de la causalidad probabilista sigue latiendo el ideal positivista de que las probabiidades son «transparentes» epistémicamente, esto es, que sólo sirven como instrumentos intermediarios epistémicamente neutrales entre nuestra experiencia y un mundo objetivo. Lo que parece ser necesario para resolver el problema de fondo es la introducción de estructuras conceptuales que nos separen los diferentes problemas que parecen estarse confundiendo en estas teorías y que nos permitan reconstruir una noción de objetividad más acorde con las teorías científicas de finales del siglo XX. En particular, el problema de encontrar las causas a partir de las probabilidades, esto es, el problema de decidir hasta qué punto las probabilidades son un instrumento confiable para detectar las causas de sucesos, debe de distinguirse del problema de definir una de las ideas regulativas cruciales de todo análisis de la objetividad científica, el concepto de causa.

BIBLIOGRAFIA

Byrne, E. (1968), *Probability and Opinion: A Study in the Medieval Presuppositions of Post-Medieval Theories of Probability,* Hague, 1968.

Cartwright, N. (1983), *How the Laws of Physics Lie*, Oxford University Press, Oxford-New York.

Catwright, N. (1989), *Nature's Capacities and their Measurement*, Clarendon Press, Oxford.

Coffa, A. (1974), «Hempel's Ambiguity», *Synthese 28*, 141-163.

Ducasse, C. J. (1924), *Causation and the Types of Necessity*, University of Washington Press. Reimpreso en 1969 por Dover Publications Inc.

Eells, E. (1991), *Probabilistic Causality*, Cambridge University Press, New York.

Fetzer, J. (ed.) (1988), *Probability and Causality*, Reidel Pub. Company, Dordrecht/Boston.

Hempel, C. y Oppenheim, P. (1947), «Studies in the Logic of Explanation»: *Philosophy of Science 15*, 135-75 (reimpreso en Hempel, 1965).

Hempel, C. (1965), *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, The Free Press, New York.

Kitcher, Ph. y Salmon, W. (1989), *Scientific Explanation*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science vol. XII, University of Minnesota Press, Minneapolis.

Laplace, P. S. (1774), «Mémoire sur la probabilité des causes par les événements» en *Oeuvres complétes.* Académie de Sciences, 14 vols., París, 1878-1912.

Laplace, P. S. (1814), «Essai philosophique sur les probabilités», en *Oeuvres complétes.* V.e. A. Besio y J. Banfi, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1947.

Lewis, D. (1986), *Philosophical Papers,* vol. II, OUP, Oxford.

Mackie, J. L. (1974), *The Cement of the Universe*, OUP, Oxford.

Salmon, W. (1984), *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton University Press, Princeton.

Sober, E. (1984), *The Nature of Selection*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Suppes, P. (1970), *A Probabilistic Theory of Causality*, N. Holland, Amsterdam.

Suppes, P. (1984), *Probabilistic Metaphysics*, Basil Blackwell, New York.

Woodward (1986), «Are Singular Explanations Implicit Covering Law Explanations?»: *Canadian Journal of Philosophy 16*, 253-280.

INDUCCION Y VEROSIMILITUD

Andrés Rivadulla

I. INTRODUCCION

Hace ahora trece años, en 1979, se publicó un libro titulado *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie* (*Los dos problemas fundamentales de la epistemología*); su autor, *Sir* Karl Popper, lo había escrito entre 1930 y 1933, y en su autobiografía intelectual (1974a, 67) refiere las peripecias por las que pasó esta obra, y cuál fue su destino final. Los dos problemas considerados a la sazón por Popper (1979, 3-4) como *fundamentales* eran: *i*) el de la *inducción*, e.d. el de la validez o fundamentación de las proposiciones generales de las ciencias empíricas, formulado en su *Lógica de la investigación científica* (en adelante *L.I.C.*) como la cuestión acerca de la validez de las generalizaciones e hipótesis empírico-científicas y de los sistemas teóricos de la ciencia, y *ii*) el de la *demarcación*, e.d. el del establecimiento de un criterio riguroso y universalmente aplicable, con el que poder distinguir las proposiciones de las ciencias empíricas de las pseudocientíficas. En aquella época Popper pensaba que éste era el problema central de la teoría del conocimiento, y a él redujo todas las demás cuestiones epistemológicas, inclusive el propio problema de la inducción. Desde luego, el problema de la demarcación fue el que, en el tiempo, primero acudió a la cita con la filosofía popperiana, pues es harto conocido que en 1919, es decir, a la temprana edad de 17 años, Popper (1963, c.1 y 1974a, 29) se había convencido ya, debido al tremendo impacto que produjo sobre él la *revolución einsteineana*, de que la verdadera actitud científica es la *actitud crítica*, que en lugar de buscar verificaciones de las teorías favoritas —precisamente lo que caracteriza a la *actitud dogmática*—, las somete a pruebas rigurosas con la intención declarada de falsarlas.

Por lo que al problema de la inducción respecta, *Sir* Karl (1963, c.1 § IV y 1972, c.1, nota 1) comenzó a interesarse por él hacia 1923 y encontró *su solución* en 1927. Tras percatarse de que, desde Bacon, los epistemólogos venían considerando el método inductivo como el criterio de demarcación entre ciencia y metafísica, Popper comprendió la estrecha relación existente entre ambos problemas. Y como él disponía ya de un criterio de demarcación mejor, la *falsabilidad*[1], pudo perfectamente sustituir el método inductivo en la ciencia por el hipotético-deductivo, sin entrar en conflicto con la teoría de la demarcación.

De estos dos problemas, el de la inducción es tan rancio como la filosofía misma, un título que comparte con el problema de la verdad. Por contra, el de la demarcación echa sus raíces en los orígenes de la ciencia moderna; pues bien, precisamente la comprensión por parte de Popper de qué es lo que caracteriza a la ciencia occidental contemporánea, le ha permitido ofrecer una teoría de la demarcación que, además de presentar una imagen global de la ciencia como una empresa racional, logra vincular de forma *no ingenua* las cuestiones relativas a la inducción y la verdad.

Hasta la irrupción de Popper en la escena filosófica hace ahora casi doce lustros, la filosofía de la ciencia se venía caracterizando por una aceptación más o menos sofisticada de la metodología inductiva. Desde el primer *método de concordancias y diferencia* que el fundador de la escuela franciscana de Oxford, Robert Grosseteste, a quien siguió su discípulo Roger Bacon, esbozara en pleno siglo XIII como forma de descubrimiento de principios explicativos universales, hasta bien entrado el siglo XX, donde brilla con luz propia la gran creación de Rudolf Carnap, la *lógica inductiva*, a la que habría que añadir su completación definitiva por Jaakko Hintikka (1966), se han venido acumulando un número importante de contribuciones, tendentes todas ellas a mostrar que la ciencia se sirve de la inducción como método para acceder a la verdad o, cuando menos, para afirmar la probabilidad de las teorías. La siguiente relación, que desde luego no pretende ser exhaustiva, podría incluir el *método de concordancias* de Duns Scoto, el de *diferencias* de Guillermo de Ockham, la *inducción por eliminación* de Francis Bacon por medio del uso de *tablas de presencia, ausencia y grados*, el cálculo *a posteriori* de probabilidades a partir de frecuencias observadas de Jakob Bernoulli, el uso *inverso* de la probabilidad por Thomas Bayes y Pierre S. Laplace, los *métodos inductivos* de Stuart Mill de las *concordancias,* la *diferencia,* el *conjunto de ambos,* de los *residuos* y de las *variaciones concomitantes*, la inducción como método de descubrimiento entendida por William Whewell como un proceso de *coligación verdadera* de hechos, las teorías de Charles Peirce de la *abducción* y la *inferencia probable*, los métodos estadísticos de *máxima verosimilitud, probabilidad fiducial y tests de significación* de Ronald Fisher, la teoría de la *decidibilidad inductiva* de Hans Reichenbach, los principios del conocimiento científico de la *casi permanencia,* de las *líneas causales separables,* de la *continuidad espacio-temporal en las líneas causales,* el *estructural* y el de la *analogía*, postulados por Bertrand Russell como garantía de que la inferencia inductivo-probabilística se aproximará a la certeza como límite, etc.

1. Sobre la insistencia de Popper en la *falsabilidad en sentido lógico como criterio de demarcación* frente a la falsabilidad en sentido práctico, véase Popper, 1989.

La excepción en esta cadena la constituye naturalmente el filósofo escocés David Hume (1739, libro I, parte III y 1748, §§ 2-7) quien, a través de su crítica de la idea de *causalidad*, proclamó en el siglo XVIII la ilegitimidad lógica de la inferencia ampliadora del contenido y conservadora de la verdad, e.d. de la inducción. Su antorcha la recogerá en pleno siglo XX Karl Popper, el cual, desde principios de los años treinta, inició sin desmayo una campaña antiinductivista, que aún hoy persiste en forma de un ataque en toda regla contra la posibilidad de la probabilidad inductiva. Al afirmar la inexistencia de la inducción en cualquiera de sus formas: lógica y psicológica, Popper, contradiciendo a C. D. Broad, concluye que la inducción ni es el escándalo de la filosofía, ni mucho menos puede pretender ser la gloria de la ciencia. Ahora bien, la *solución negativa* del *problema lógico-metodológico de la inducción*, consistente en que *no podemos justificar las teorías* ni como verdaderas ni como probables, Popper (1934, 226, nota de 1968), a instancias de su antiguo discípulo Imre Lakatos, la considera compatible con la siguiente *solución positiva*: «*Podemos justificar la preferencia* por determinadas teorías a la luz de su corroboración, e.d. del estado momentáneo de la *discusión crítica de las teorías competidoras bajo el punto de vista de su proximidad a la verdad*». El concepto metodológico de corroboración proporciona el engarce entre la inducción y la verosimilitud. Pero esta vinculación, insisto, no es ingenua, pues ni la inducción, concebida como una forma de inferencia ampliativa conservadora de la verdad posee legitimidad lógica, ni la verdad misma, entendida como certeza, como saber seguro, es alcanzable (esta última idea, que Popper proclama por vez primera en el parágrafo 85 de su *L.I.C.* constituye para Rivadulla (1986, 295-301, y 1987a) un elemento consustancial de su *realismo crítico*, *conjetural* o *hipotético*). Al rehabilitar el olvidado *principio humeano de invalidez de la inducción*, Popper destierra definitivamente de la metodología de la ciencia al método inductivo como procedimiento para el descubrimiento de la verdad.

II. EL PROBLEMA DE LA EVALUACION PROBABILISTICA DE LAS HIPOTESIS CIENTIFICAS

En el *Postscriptum* de su *L.I.C.* Popper (1983, 232) plantea esta desafiante pregunta

> ¿Quién tiene razón, los filósofos que aseveran que, testando una hipótesis, establecemos su probabilidad en el sentido del cálculo de probabilidades, o yo, que afirmo que lo que establecemos cuando examinamos rigurosamente una hipótesis no puede ser, en general, una probabilidad en el sentido de este cálculo?

Como conocemos por su solución negativa del problema de la inducción, que ni tan siquiera podemos justificar las teorías científicas como probables, la respuesta a esta pregunta es obvia.

Para mostrar la justeza de su punto de vista, Popper ha desarrollado su campaña antiinductivista en un doble frente. Por una parte ha tratado de mostrar la inviabilidad del uso inductivo de la probabilidad, y por otra parte ha intentado poner de manifiesto las insuperables dificultades inherentes a los puntos de vista competidores de su programa, ya sea la *lógica probabilística* de Hans Reichenbach, o la *lógica inductiva* de Rudolf Carnap. En el primer frente es fácil distinguir a su vez dos etapas bien diferenciadas: una primera fase más consecuente con su solución negativa del problema de la inducción, a la que corresponderían los argumentos denominados por Rivadulla (1989, 63 ss.) «de la equiprobabilidad de las posibilidades» (A.E.P.) y «de la independencia de las posibilidades» (A.I.P.), con los que Popper presume haber probado que, en un dominio infinito, la probabilidad de cualquier hipótesis universal es cero; en una segunda fase, en la que ya acepta que un dato evidencial relevante puede *apoyar probabilísticamente* a una hipótesis, *Sir* Karl trata de mostrar por medio del «argumento de la inalterabilidad de la razón entre las probabilidades *a priori*» (A.I.R.) y del «argumento de Popper-Miller sobre la imposibilidad de la probabilidad inductiva» (A.P.M.) que este apoyo probabilístico no puede ser inductivo.

El argumento A.E.P. se basa en el hecho *i*) de que toda hipótesis universal h equivale a una conjunción infinita de predicaciones atómicas, y *ii*) que esta hipótesis universal no es sino un elemento del espacio muestral constituido por las 2^n descripciones de estado lógicamente posibles y equiprobables a que da lugar la suposición *a priori* de que cada individuo del dominio tiene igual posibilidad de ser P ó $\neg P$. Por consiguiente,

$$p(h) = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{2^n} = 0$$

y $p(h, e) = 0$. Ahora bien, este argumento confunde la probabilidad de dar con la verdad, que en el dominio infinito considerado es cero, con la probabilidad de que una de las descripciones de estado sea la verdadera, puesto que una de ellas lo es.

A.I.P. parte también del supuesto *a priori* de que las infinitas frases atómicas de que se compone h son independientes. Luego

$$p(h) = \lim_{n\to\infty} [p(a_1) \cdot p(a_2) \ldots p(a_n)\,] = 0.$$

Pero como objetan Niiniluoto y Tuomela (1973, c.11, nota 12), *a priori* es tan legítimo optar por la suposición de independencia como por su contraria.

Tras aceptar, en una segunda etapa, que un informe observacional e apoya probabilísticamente una hipótesis h si y sólo si $p(h, e) > p(h)$, lo que únicamente es posible cuando *i*) y *ii*), Popper prueba con A.I.R. que, si h_1 y h_2 son dos generalizaciones cualesquiera apoyadas por e, y $p(h_1)\,/\,p(h_2)$ es la razón entre sus probabilidades *a priori*, entonces

$$\frac{p(h_1, e)}{p(h_2, e)} = \frac{p(h_1)}{p(h_2)}.$$

Como la evidencia no altera el orden inicialmente atribuido a las hipótesis competidoras, entonces no puede discriminar entre ellas. Este argumento carece empero de fuerza de convicción, ya que, si bien es cierto que, mientras las apoye, e no puede alterar el orden establecido *a priori* entre ambas hipótesis, no lo es menos que en el momento en que la evidencia refutara a una de ellas, pero continuara confirmando a la otra, la igualdad indicada se transformaría en desigualdad.

Finalmente, como

i) $h = (h \vee e) \wedge (h \vee \neg e)$
ii) $e \vdash h \vee e$
iii) $\neg(e \vdash h \vee \neg e)$,

si $h \vdash e$ y $0 < p(h) < p(e) < 1$, entonces

α) $p(h, e) > p(h)$
β) $p(h \vee \neg e, e) = p(h, e)$
γ) $p(h \vee \neg e, e) < p(h \vee \neg e)$.

Ahora bien, como para Popper y Miller la inferencia de una conclusión a partir de un grupo de premisas dado es *inductiva* si y sólo si no es deductiva, entonces *iii*) expresa que se sigue inductivamente de e. Luego Popper y Miller (1983, 1984 y 1987) concluyen (A.P.M.): Si el apoyo probabilístico que la evidencia observacional e proporciona a la hipótesis h —circunstancia expresada por medio de α)— fuera inductivo, entonces e debería apoyar probabilísticamente al componente inductivo de h relativo a la evidencia —e.d. $h \vee \neg e$—; pero como γ) muestra, $h \vee \neg e$ es refutado por e. Luego el apoyo probabilístico no puede ser inductivo, y la probabilidad inductiva es imposible.

A.P.M. no es, no obstante, tan devastador como sus autores presumen, pues, como Rivadulla (1987c, 357 y 1989, 68-69) afirma, tanto α) como γ) se siguen deductivamente de los mismos supuestos, si bien h y $h \vee \neg e$ no son lógicamente equivalentes —aunque lo sean probabilísticamente, dado e—, por lo cual lo que es positivamente relevante para una no tiene por qué serlo para el otro. Popper y Miller deberían precisar más su teoría subyacente acerca de la inducción —lo que no implicaría recriminarles un inductivismo latente—, pues de lo contrario no se entiende por qué *refutación probabilística* quiere decir *contrainducción*.

Por lo que llevamos visto hasta ahora, la pregunta con que iniciamos esta sección parece que puede ser respondida en el sentido de que Popper no ha conseguido probar que no tienen razón los filósofos que aseveran que las teorías pueden ser evaluadas probabilísticamente. Mas este estudio quedaría incompleto si no analizáramos, aunque sea de modo obligadamente breve, las objeciones de Popper contra las concepciones inductivo-probabilísticas de Reichenbach y Carnap. En su ataque contra la inducción Popper (1934, §1) argumenta que la aceptación de un principio sintético de inducción capaz de otorgar legitimidad lógica a las inferencias inductivas, comporta inevitablemente un regreso infinito o una concesión al apriorismo. E inmediatamente advierte que estas dificultades se trasladan a toda posición que pretenda sustituir la exigencia de *validez* de las inferencias inductivas por la de *probabilidad*. La forma de salvar la solución negativa del problema de la inducción no puede consistir, pues, según Popper, en el establecimiento de una *lógica probabilística* (Reichenbach) o una *lógica inductiva* (Carnap) que habilitara para afirmar que las conclusiones inductivas son (más o menos) *probablemente verdaderas*.

Para Hans Reichenbach (1930, 65) empero el problema se resuelve admitiendo precisamente un *principio de inducción* capaz de garantizar que las leyes generales de la ciencia se infieren con un grado determinado de probabilidad. En la epistemología reichenbachiana estos enunciados tienen el carácter de hipótesis probabilísticas, cuya comprobación empírica no puede conducir ni a su verificación concluyente ni a su refutación definitiva —éste es un principio aceptado sin discusión en el ámbito de la inferencia estadística—. Las leyes de la ciencia son, pues, indecidibles desde el punto de vista de la lógica clásica. Su tratamiento exige una *generalización* de la lógica, denominada por Reichenbach (1935, 272) *lógica probabilística*, en la cual su decidibilidad (inductiva) comporta su evaluación como más o menos probable.

El principio o *regla* de inducción propuesto por Reichenbach (1936b, 1) es una versión matizada del teorema de Jakob Bernoulli y afirma que, cuando el número de observaciones crece indefinidamente, la frecuencia relativa observada oscila alrededor de un valor límite. Pero Reichenbach, consciente de las dificultades que entraña la justificación de este principio, se apresura a señalar que, por muy numerosas que sean las observaciones realizadas, los informes estadísticos equivalen sólo a fragmentos finitos de sucesiones supuestamente infinitas, de manera que nunca se podrá saber si una sucesión dada realmente tiene un límite. Si no lo tiene, la regla de inducción (como cualquier otro procedimiento ampliativo) puede llevarnos a error; pero, si tal límite existe, ella debe acercarnos razonablemente a la verdad. El principio de inducción no indica, pues, según Reichenbach (1936a, 35 y 1936b, 2-4, *et passim*), ninguna condición suficiente para el descubrimiento de la verdad, pero apoya a la suposición más favorable. Tratándose de una *regla metodológica*, antes que de un principio de inducción sintético empíricamente

válido o verdadero *a priori*, difícilmente es vulnerable a los reproches popperianos de regreso infinito y/o apriorismo.

Por lo que concierne a la teoría carnapiana de la lógica inductiva, la dificultad principal estriba en la *selección* de una *función de confirmación c* determinada. Para Rudolf Carnap (1963b, 972) el razonamiento inductivo tampoco constituye un procedimiento para el descubrimiento de verdad, sino para la averiguación del *grado de confirmación* o *probabilidad lógica* de una hipótesis *h* ya disponible en relación a una evidencia observacional relevante *e*, es decir, para la determinación de *c(h, e)*. Ahora bien, Carnap (1952, 30 y 1959, 217) concibe la función *c* como una media ponderada de la frecuencia observada de individuos de un tipo determinado, y la probabilidad *a priori* del tipo de individuo, en cuestión; los pesos de ponderación son la cardinalidad de la muestra y un factor λ correspondiente a la suposición *a priori* acerca del grado de uniformidad del dominio investigado. Como los demás elementos que aparecen en el *definiens* de *c* son conocidos, o bien como consecuencia de las observaciones realizadas, o bien a causa de la estructura del lenguaje diseñado para la investigación del dominio considerado, el parámetro λ es el único elemento desconocido del *definiens*. Ahora bien, λ puede asumir infinitos valores, cada uno de los cuales caracteriza una función *c* determinada, y por tanto un método inductivo particular. Luego el problema principal consiste en seleccionar, del *continuo* de los métodos inductivos aquél —e.d. aquel valor de λ— que mejor dé cuenta de nuestra práctica inductiva en el dominio considerado. La dificultad de la empresa no se puede ocultar, ya que entre el valor $\lambda = 0$, correspondiente a la suposición *a priori* de que el dominio investigado es completamente uniforme, en el sentido de que *todos* los individuos son del mismo tipo, y el valor $\lambda = \infty$, que corresponde a la de que en el dominio no existe el más mínimo grado de uniformidad, o sea, que *todos* los individuos se reparten por igual entre los diferentes tipos, hay infinitas posibilidades. En todo caso, el modo como Carnap resuelve este problema, del que Rivadulla (1986, 99-106) ofrece una exposición detallada, no tiene especial relevancia para el tema que nos ocupa, que es el de si la aceptación *a priori* de un valor de λ es reo de apriorismo. Pues bien, para Carnap (1959, 229-230) la cuestión acerca de qué método inductivo elegir, qué valor de λ seleccionar, es eminentemente *práctica*; de manera que la decisión que se tome al respecto no puede ser enjuiciada como verdadera o falsa, sino sólo como más o menos *adecuada*. Desarrollando esta idea de Carnap, Wilhelm Essler (1970, 185ss.) afirma que el valor otorgado a λ tiene el carácter de una *hipótesis sintética a priori* acerca del dominio considerado, pero en modo alguno debe ser considerada como *fundamentada a priori*. De hecho, el método inductivo elegido puede ser sustituido por otro, si pensamos que proporciona explicaciones más acordes con los resultados observados —la metodología estadística trata también de destacar la hipótesis que mejor da cuenta de las observaciones—. Así pues, las hipótesis planteadas *a prio-*

ri acerca del grado de uniformidad del dominio son corregibles y carecen del *status* de enunciados irrefutables acerca de la realidad. No siendo juicios sintéticos verdaderos *a priori*, no es correcto reprochar a la teoría carnapiana de la lógica inductiva que incurre en una concesión al apriorismo.

III. GRADO DE CORROBORACION, INDUCCION Y PROBABILIDAD INDUCTIVA

Las reflexiones de la sección precedente nos permiten contestar al menos parcialmente la pregunta de Popper, afirmando que *Sir* Karl no consigue mostrar ni que la probabilidad inductiva es imposible, ni que no tienen razón los filósofos que sostienen que la probabilidad es aplicable para evaluar el apoyo empírico que reciben las hipótesis científicas. En el bien entendido que, concluir que Popper no ha tenido éxito en su empeño, no significa asumir la validez de lo que pretendía negar.

En todo caso, la pregunta de Popper tiene una segunda parte, a la que aún no hemos hecho referencia, que se desarrolla en una nueva cuestión no menos desafiante que la primera. Esta segunda parte Popper (1983, 232) la reformula inquiriendo: «¿Existe una función de medida que tenga las propiedades que yo le adscribo al grado de corroboración (y que por consiguiente no satisface el cálculo de probabilidades)?, ¿es consistente mi idea del grado de corroboración?».

La incorporación de Popper a principios de los años treinta a la escena filosófica produjo un fuerte impacto en la epistemología y en la metodología de la ciencia. Frente a la tesis del Círculo de Viena de que la tarea de la filosofía, en palabras de Carnap (1963a, 50), consistía en reducir todo el conocimiento a una base de certeza, el análisis que Popper (1934, c.V) realiza del problema de la fundamentación del conocimiento, le lleva a concluir que la cuestión central de la epistemología no es la de ¿a qué es reducible nuestro conocimiento, cómo podemos fundamentarlo empíricamente?, sino la de ¿cómo podemos *criticar* de la mejor forma posible nuestras hipótesis, teorías o conjeturas científicas? Este resultado es perfectamente coherente con el que se desprende de su análisis del problema de la inducción, pues, en ambos casos, tanto la inexistencia de una base de certeza sobre la que asentar sólidamente el edificio de la ciencia, como la imposibilidad de dar con la verdad por razones lógicas, impelen a Popper a concluir que la actitud crítica, la metodología falsacionista, es la propia de la ciencia. Pues bien, en 1919, diez años antes de que el Círculo de Viena, con ocasión del I Congreso sobre Epistemología de las Ciencias Exactas celebrado en Praga en 1929, adquiriese relieve internacional, Popper había llegado ya al convencimiento de que, siendo la irrefutabilidad un defecto, y no una virtud de las teorías, todo test de una teoría debía consistir en un intento por falsarla, con lo que sólo se debería poder hablar de su *corroboración*, y siempre con carácter provisional, ante el fracasado intento de lograr su refutación. La *corroboración* de

una teoría quería decir, pues, la constatación de la resistencia que opone a las pruebas a que es sometida, no importando al respecto tanto el número como la calidad de éstas, e.d. su severidad.

A pesar de tratarse de un enfoque puramente *metodológico* de la relación entre teoría y base empírica, Popper no pudo sustraerse a su entorno formalista, en particular a su polémica con Carnap, que les venía ocupando a ambos desde los primeros años treinta en Viena, y que durante un tiempo se tradujo en un uso equívoco del término *confirmación*. Ante el reto que representaba la lógica inductiva de Carnap, como una teoría lógico-probabilística de la medida del apoyo empírico que experimentan las hipótesis científicas, Popper (1934, c. IX) publica una serie de artículos entre los años 1954 y 1958 en *The British Journal for the Philosophy of Science*, en los que pretende resolver el doble *problema del grado de corroboración*, a saber: *i*) si existe una medida de la severidad de la prueba a que son sometidas las teorías, y *ii*) si, además, se puede mostrar que esta medida no puede ser una probabilidad. La medida de Popper (1934, c. IX, 352, nota 2 y 1963, c. 11, 288) del grado de corroboración es

$$C(h, e) = \frac{p(e, h) - p(e)}{p(e, h) - p(e \wedge h) + p(e)}$$

La reconstrucción del razonamiento de Popper es la siguiente: como el caso en que *Sir* Karl está más interesado es aquel en que e representa el resultado harto improbable *a priori*, desde el punto de vista de una hipótesis universal h, del test de ésta, si sucede que $h \vdash e$, e.d. que h da cuenta de e, que e confirma a h, entonces es $p(e, h) = 1$ y $p(e \wedge h) = p(h)$. Con estos supuestos es $p(h) = 0 = p(e)$.

Consideremos ahora el caso en que e refuta a h, e. d. cuando e implica $\neg h$, y por consiguiente $p(\neg h, e) = 1$. Obviamente es $p(h, e) = 1 - p(\neg h, e) = 0$. De la forma simplificada del Teorema de Bayes

$$p(h, e) = \frac{p(h, e) \cdot p(e, h)}{p(e)},$$

se sigue

$$p(e, h) = \frac{p(h, e) \cdot p(e)}{p(h)} = 0.$$

Igualmente es $p(e \wedge h) = p(e, h) \cdot p(h) = 0$. Luego, cuando e refuta a h, sucede que $C(h, e) = -1$. O sea, que los valores extremos que puede alzanzar el grado de corroboración C son +1 y -1, según que e confirme o refute a h, con lo que no se trata de una medida de probabilidad, ya que ésta sólo admite valores del intervalo (0,1).

Un examen más atento del argumento nos permite observar empero que, en el caso en que *e* refuta a *h*, no parece que *e* pueda ser considerado ya un resultado harto improbable *a priori*, desde el punto de vista de *h*. Pues si conviniéramos en considerar que $p(e) = 0$, entonces el valor del grado de corroboración de *h* por medio de *e* sería *indeterminado* en lugar de negativo. Ahora bien, la metodología popperiana de la ciencia demanda que la prueba a que sometemos la hipótesis testada sea lo más severa posible, e.d. que *a priori* sea harto improbable que la hipótesis pueda explicarla satisfactoriamente. Luego no se comprende por qué en un caso: cuando *e* confirma a *h*, la probabilidad *a priori* de *e* se considera nula, y en el otro: cuando *e* refuta a *h*, se considera positiva. Luego dista de ser obvio que los grados de corroboración oscilen entre -1 y $+1$. No obstante, con esto no queda refutado que el grado de corroboración no sea una probabilidad, ya que no se ha probado que su rango de valores se sitúe entre 0 y 1.

Pero volvamos a considerar, en el espíritu de la metodología popperiana de la ciencia, el caso en que *e* confirma a una hipótesis universal, harto improbablemente verdadera, *h*. Como el rigor de la prueba, a que es sometida *h*, lo medimos en términos de la probabilidad *a priori* de *e*, la actitud más razonable es la que corresponde a $0 \neq p(e) \neq 1$, ya que *inicialmente* desconocemos, o bien $p(e, h) = 0$ ó bien que $p(e, h) = 1$. Sin embargo, podemos atribuir *a priori* valores positivos de probabilidad a *e*, de acuerdo con nuestra impresión personal acerca de la severidad de la prueba —no olvidemos que el propio Popper (1934, c. IX, 354 y 1963, c. 11, 288) es escéptico respecto de la posibilidad de ofrecer una formalización completa de lo que se entiende por un test severo e ingenioso. En este caso la medida popperiana del grado de corroboración adopta la forma

$$C(h, e) = \frac{1 - p(e)}{1 + p(e)}$$

y satisface el *desideratum* de que, cuanto más rigurosa es la prueba, o sea menor es la probabilidad inicialmente otorgada a *e*, si *e* inesperadamente confirma a *h*, corrobora la hipótesis en mucha mayor medida que si *e* es harto probable *a priori* y también confirma *h*. Ahora bien, afirmar —para el caso en que los valores extremos de las probabilidades iniciales de *e* son excluidos de entrada— que el grado de corroboración se aproxima a 1 ó 0, dependiendo de que el grado subjetivo del rigor de la prueba sea pequeño o grande respectivamente, hace indistinguible al grado de corroboración de una medida de apoyo probabilístico. Además, Rivadulla (1988, 222-223 y 1989, 72-74) ha mostrado que, para cualquier evidencia observacional *e* que confirme una hipótesis *h*, y siempre que $1 > p(e) > p(h) > 0$, el teorema de Bayes garantiza que un aumento de la evidencia confirmatoria incrementa el apoyo probabilístico que recibe la hipótesis; en ausencia de contraejemplos, el valor numérico de este apoyo

puede aproximarse a 1, e.d crece la probabilidad de que la hipótesis sea verdadera. En efecto,

$$p(h, e_i \wedge e_k \wedge \ldots) > \ldots > p(h, e_i \wedge e_j) > p(h, e_i) \text{ syss } p(e_i) > p(e_i \wedge e_j) >$$
$$> p(e_i \wedge e_j \wedge e_k) > p(e_i \wedge e_j \wedge e_k \wedge \ldots) > \ldots > p(h).$$

Ahora bien, como esta expresión pone claramente de manifiesto, cuanto menor es *a priori* la probabilidad de ocurrencia de predicciones sucesivas de *h* mayor resulta la probabilidad *a posteriori* de la hipótesis, si las predicciones se confirman. Excluidos, pues, de entrada los valores extremos 0 y 1 para las probabilidades iniciales o *a priori* de *e* y *h*, si interpretamos *metodológicamente* las predicciones harto improbables de *h* en términos de test severos que la hipótesis debiera superar, entonces, a su vez también, la medida de *apoyo probabilístico* sería difícilmente distinguible de la de *grado de corroboración*. Concluyendo: contra lo que Popper pretende, no parece que exista una medida capaz de formalizar las propiedades metodológicas de la corroboración y que no sea una probabilidad.

Como conclusión general de los apartados II y III podríamos decir que Popper no sólo no ha logrado mostrar que se equivocan quienes aseveran que, como resultado de la comprobación experimental de una hipótesis científica, puede aumentar la probabilidad de que ésta sea verdadera, sino que ni siquiera ha logrado establecer una medida de apoyo empírico plenamente consistente con las intuiciones metodológicas que están en la base de su teoría de la ciencia.

IV. INFERENCIA INDUCTIVA E INFERENCIA ESTADISTICA

La campaña antiinductivista de Popper en filosofía de la ciencia curiosamente discurre simultánea y en paralelo con la de Sir Ronald Aylmer Fisher, quien, en la metateoría de la estadística matemática, aboga por el carácter netamente inductivo de la inferencia estadística. Su labor en esta dirección ha sido considerada por Ian Hacking (1980, 142) tan importante que, afirma, de haber sido comprendida en su momento toda la potencialidad del artículo de Fisher (1922) sobre la fundamentación de la estadística matemática, la inducción habría dejado de ser *ipso facto* el escándalo de la filosofía. ¿Es, pues, la inferencia estadística la forma matemática que modernamente adopta la inferencia inductiva? El aparente fracaso de la campaña popperiana, que las secciones precedentes tratan de poner de manifiesto, podría llevar a esperar una respuesta afirmativa de esta pregunta, que cabría reformular como sigue: ¿apoya la teoría estadística contemporánea el uso inductivo de la probabilidad matemática?

En su trabajo fundamental de 1922 sobre los fundamentos de la estadística teórica, Fisher distingue entre el *objeto* de los métodos estadísticos y la *función* de la estadística teórica. El primero consiste en la *re-*

ducción de los datos aleatoriamente extraídos por medio de observaciones independientes a partir de una población distribuida de cierta forma, e.d. en la obtención de *estadísticos* que contengan el máximo de información relevante contenida en la muestra. Estos *estadísticos* serán empleados para la *estimación* del valor verdadero de los parámetros poblacionales. Así, dada una muestra de n observaciones independientes procedentes de una población distribuida *normalmente*[2], el procedimiento de reducción de estos n datos consistirá en extraer de ellos toda la información relevante relativa a los parámetros μ, el valor medio de la población, y σ, la desviación típica o desviación media de los valores poblacionales respecto de μ. Por su parte, la función de la estadística teórica consiste en mostrar cómo se pueden calcular los estadísticos en cuestión y de qué tipo es la información contenida en ellos.

Fisher (1932, 257, *et passim*) es claramente consciente de la distinción entre razonamiento deductivo e inductivo, pues mientras el primero consiste en la argumentación de una hipótesis a sus consecuencias necesarias, el segundo consiste, en terminología estadística, en la argumentación de la muestra a la población de la que aleatoriamente procede. El desarrollo de la metodología estadística, en particular los métodos de estimación de valores poblacionales —máxima verosimilitud y probabilidad fiducial— y los tests de significación de hipótesis estadísticas, habría contribuido además en su opinión (Fisher 1956, 69 y 108) a aclarar la forma matemática del razonamiento inductivo y la estructura de la lógica inductiva.

Frente al enfoque inductivista de la estadística fisheriana, que Rivadulla (1991a, c. IV y 1991b, 213-218 y 225-226) estudia detenidamente, Jerzy Neyman, basándose en la idea de que el razonamiento sólo puede conducir a conocimientos en tanto sirve para demostrar las consecuencias de los postulados aceptados, con lo que sólo puede ser deductivo, propone, a mediados de los años treinta, construir una teoría de la estadística matemática basada exclusivamente en la teoría (deductiva) de probabilidades. Tal teoría caería naturalmente dentro del dominio de la lógica deductiva, y haría injustificado calificar de *inductivo*, contra Fisher, el razonamiento conducente a la afirmación de que el valor estimado de un parámetro poblacional se encuentra dentro de un intervalo calculado. La teoría de Neyman de intervalos de confianza trata de la estimación del valor verdadero de un parámetro poblacional O fijo pero desconocido, en base a una serie de variables aleatorias X, cuya distribución depende de O. Al respecto se requieren dos datos, según Neyman

2. La distribución o curva normal, también llamada ley de errores o curva de Gauss, tiene forma acampanada, es simétrica respecto a μ, posee puntos de inflexión a una desviación típica μ a cada lado de μ, y es asintótica, o sea, se extiende indefinidamente a ambos lados de μ sin llegar a tocar nunca el eje de abscisas. Como el área total que delimita la curva normal con este eje es la unidad, entonces aproximadamente el 68% del área bajo la curva se encuentra a 1σ de μ, aproximadamente el 95% de la superficie se encuentra a 2σ de μ y aproximadamente el 98% se encuentra a 3σ de μ. Para un número suficientemente grande de observaciones, la distribución normal constituye una buena aproximación de otras distribuciones, como por ejemplo, la binomial, la distribución t de Student, etc.

(1977, 116ss.), a saber: (*i*) el conjunto de valores que puede tomar, y (*ii*) la distribución de X. El procedimiento consiste en *estimar* los límites de confianza inferior y superior de O, los cuales constituyen el intervalo que muy frecuentemente lo contendrá.

Supongamos que deseamos calcular un intervalo de confianza de un $(1-\alpha)$ 100 % a fin de estimar el valor medio μ de una variable aleatoria normal X que representamos como $N(\mu;\sigma)$. Como X está distribuida normalmente, los valores x de X se desvían individualmente de μ una cantidad que se expresa como $x = \mu + z\sigma$. Por consiguiente, $z = (x - \mu)/\sigma$ es también una variable aleatoria distribuida normalmente con $\mu=0$ y $\sigma=1=\sigma^2$, que se representa como $N(0;1)$. Z está tabulada, y su tabla proporciona la probabilidad $\alpha/2$ de que un valor aleatorio de Z, normalmente designado como $Z_{\alpha/2}$, sea mayor que un valor dado. $\alpha/2$ representa el área correspondiente al extremo (derecho) de la curva normal de Z, e.d. el conjunto de valores de Z que sólo acontecen con una frecuencia muy pequeña.

El teorema central del límite del cálculo de probabilidades establece que $\bar{X}$ es una variable aleatoria distribuida normalmente según $N(\mu;\sigma_{\bar{X}})$, donde $\sigma_{\bar{X}} = \sigma/\sqrt{n}$. Así pues, $Z = (\bar{X} - \mu)/\sigma_{\bar{X}}$ y por lo dicho en relación a la tabla de Z, podemos escribir

$$P[-z_{\alpha/2}<Z<z_{\alpha/2}] = 1-\alpha$$

Y sustituyendo aquí el valor de Z, obtendremos

$$P[\bar{X}-z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{X}}<\mu<\bar{X}+z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{X}}]=1-\alpha. \qquad (1)$$

Pues bien, los valores situados a izquierda y derecha de μ constituyen respectivamente las estimaciones inferior E_1 y superior E_2 de μ, e.d. los límites del intervalo de confianza dentro del que se sitúa μ en un $(1-\alpha)$ 100 % de las muestras de amplitud n aleatoriamente extraídas de la población normal representada por X. Ahora bien, otra forma de decir esto es afirmar que, a partir del supuesto de distribución normal de X, hemos logrado calcular un intervalo de confianza de longitud $l=2z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{X}}$, en el que el parámetro μ está situado en un $(1-\alpha)$ 100 % de las muestras de X de cardinalidad n. Insertando luego en l el valor de $\sigma_{\bar{X}}$ resulta que $l=[2z_{\alpha/2}]^2\cdot[\sigma/l]^2$, y

$$n=4\ [z_{\alpha/2}]^2\cdot[\sigma/l]^2$$

que es la expresión por medio de la cual podemos estimar la amplitud deseada de la muestra. Para estimar n no es preciso conocer σ, sino sólo fijar el coeficiente de confianza correspondiente a la longitud deseada —expresada en múltiplos de σ— del intervalo de confianza. El resultado será que el $(1-\alpha)$ 100 % de las muestras de n elementos extraídas al azar de la población investigada contendrán a μ en el intervalo $X\pm l$.

Lo expuesto puede ser aplicado también al *test* de una hipótesis H_0: $\mu=\mu_0$ contra una hipótesis alternativa H_1: $\mu>\mu_0$. A estos efectos sólo tomaremos en consideración aquellos valores $\bar{x}$ medios de las muestras que sean iguales o mayores que el valor conjeturado μ_0 de μ. Como lo que esto comporta es tener en cuenta sólo la mitad derecha o positiva del intervalo de confianza, entonces, si designamos por medio de $d_{\bar{x}} = \bar{x}-\mu_0$ la *desviación* respecto de μ de un valor muestral medio $\bar{x}$, podremos formular como sigue la *regla del test* de H_0 contra H_1:

$$RT\text{: Rechazar } H_0 \text{ al nivel } \alpha \text{ en favor de } H_1 \textit{ syss } d_{\bar{x}}>l/2.$$

En el caso, pues, que $d_{\bar{x}}$ sea menor o igual que $l/2$ no habría ninguna razón para declarar a H_0 empíricamente refutada al nivel de significación α, pues, de ser verdadera, los valores medios $\bar{x}$ de las muestras observadas estarán situados en un $(1-\alpha)$ 100 % de los casos en el semiintervalo $\mu+l/2$.

Pues bien, en relación al problema *inducción-deducción* en inferencia estadística, Neyman (1952, 209) asevera que las propiedades de los intervalos de confianza son el resultado del razonamiento deductivo. Así, la expresión (*) constituye una inferencia *deductiva* de un argumento cuyas premisas son el teorema central del límite y la asunción del carácter normal de la distribución de X. El razonamiento deductivo concluye pues con el cálculo de los valores límite E_1 y E_2. A partir de aquí sólo es materia de *decisión*, y no de inferencia, el comportarse como si el valor verdadero de μ estuviese situado, en la proporción calculada, dentro de tales límites. La razón es, según Neyman (1952, 209-210) bien simple: sabemos que la frecuencia relativa a la larga de nuestras decisiones correctas es igual al coeficiente de confianza $1-\alpha$ que nosotros mismos hemos elegido. Obviamente, nuestras decisiones están guiadas por la aceptación de la validez empírica de la ley de los grandes números, y en todo caso caen dentro de la teoría de la decisión, y no de la inferencia, ni deductiva ni inductiva.

La decisión es mucho más clara en los tests de hipótesis estadísticas, donde rechazo y/o aceptación de una hipótesis testada son siempre relativos a un nivel de significación α dado, e.d. tras *decidir* qué constituye un resultado *estadísticamente significativo*. Así, la decisión acerca de hasta qué punto ser tolerante con las desviaciones observadas respecto de lo conjeturado por la hipótesis testada no tiene nada que ver con la inferencia, ni deductiva ni inductiva.

En conclusión, si, como parece, en estadística frecuencial no hay lugar para inducciones, y si, además, los métodos estadísticos proceden al margen de probabilidades *a priori*, con lo que el cálculo de probabilidades *a posteriori* es impensable, la estadística matemática no bayesiana queda al margen de la disputa acerca de la posibilidad de la probabilidad inductiva.

V. PROBABILIDAD INDUCTIVA Y VEROSIMILITUD

La solución positiva de Popper del problema lógicometodológico de la inducción, expuesta en la introducción, vincula la metodología de la ciencia (la corroboración de las teorías) con la epistemología (la aproximación a la verdad, la verosimilitud de las teorías), ofreciendo una imagen *racional* de la empresa científica. Mas esta solución responde a una reformulación del problema, que Popper (1972, c. I § 5) enunció como sigue: «¿Se puede justificar en "razones empíricas" la *preferencia* de algunas teorías universales competidoras frente a otras, con respecto a verdad o falsedad?». Como buscamos teorías verdaderas, preferiremos claramente aquellas cuya falsedad aún no haya sido establecida. A su vez, la racionalidad de la preferencia es una consecuencia de la racionalidad del procedimiento elegido: la discusión crítica de las teorías competidoras, desde el punto de vista de su proximidad a la verdad.

Pues bien, basándose en la noción de Tarski del contenido de un enunciado A, $Cn(A)$, como la clase de sus consecuencias lógicas, a fin de definir el *contenido de verdad* como la clase de sus consecuencias verdaderas, pero no tautológicas, y el *contenido de falsedad* como la clase de sus consecuencias falsas, Popper (1963, c. 10 § XI y 1972, c. 2 § 8) afirma que una teoría B es más verosímil que otra teoría competidora A si y sólo si (*i*) el contenido de verdad de B, pero no su contenido de falsedad, es mayor que el de A, o (*ii*) el contenido de falsedad de A, pero no su contenido de verdad, es mayor que el de B. Una teoría es, pues, tanto más verosímil que su(s) competidora(s) cuanto mayor es su contenido de verdad y menor su contenido de falsedad; con lo que la teoría con el mayor contenido será la más verosímil, siempre que no lo sea su contenido de falsedad.

Si designamos ahora con T y F respectivamente el conjunto de las frases verdaderas y falsas del lenguaje en que están formuladas las teorías A y B, y t es un enunciado tal que $Cn(t)=T$, entonces el contenido de verdad de A se define del modo siguiente: $A_T=A\mathrm{V}t$. Efectivamente, $x\in A_T$ si y sólo si $x\in Cn(A)\cap Cn(t)= Cn(Avt)$. Por su parte, el contenido de falsedad de A se define como: $A_F=A,A_T$.

Si ahora simbolizamos con $Ct(A)$ la medida del contenido de A, y con $p(A)$ la de su probabilidad lógica, entonces la concepción popperiana acerca de la relación inversa entre contenido informativo y probabilidad lógica comporta que $Ct(A)= 1-p(A)$. Y por consiguiente las medidas de los contenidos de verdad Ct_T y de falsedad Ct_F de A serán, respectivamente: $Ct_T(A)= Ct(A_T)= 1-p(A_t)$ y $Ct_F(A)= Ct(A,A_T)= 1-p(A,A_T)$. Pues bien, la comparación de la verosimilitud de las teorías competidoras supuestamente falsas A y B en términos de sus medidas respectivas de contenido de verdad y falsedad es la siguiente:

$$(*) \quad Vs(A)<Vs(B) \text{ syss } Ct_T(A) < Ct_T(B) \text{ y } Ct_F(B) \leq Ct_F(A)$$
$$\text{o syss } Ct_T(A) \leq Ct_T(B) \text{ y } Ct_F(B) < Ct_F(A)$$

Por el axioma de adición del cálculo de probabilidades tenemos, dado que A y t son incompatibles, $p(A_T)=p(A \vee t)=p(A)+p(t)$. Y, como $A \vdash A_T$, es $p(A \wedge A_T)=p(A)$ y $p(A, A_T)=p(A \wedge A_T)/p(A_T)=p(A)/p(A_T)$. Si ahora, siguiendo a Rivadulla (1987b, 190 y 1991a, 109-110) llamamos $p(A)=a$, $p(B)=b$, $p(t)=c$; sustituimos en (*) las medidas de los contenidos de A y B por sus valores correspondientes y aplicamos las operaciones indicadas del cálculo de probabilidades, obtendremos

$$(**) \quad Vs(A)<Vs(B) \text{ syss } Ct_T(A) < Ct_T(B) \text{ y } Ct_F(A) < Ct_F(B)$$
$$\text{o syss } Ct_T(A) > Ct_T(B) \text{ y } Ct_F(A) > Ct_F(B)$$

Mas este resultado es completamente absurdo, pues indica que una teoría B es más verosímil que otra teoría competidora A tanto si sus contenidos de verdad y de falsedad son mayores, como si son menores que los de A. En cualquier caso sería B más verosímil que A, y toda teoría más verosímil que cualquier otra.

La identificación por parte de Popper de la medida del contenido de una teoría con su improbabilidad lógica, consustancial por lo demás a su epistemología de la ciencia, hace absolutamente inviable la comparación de teorías por su verosimilitud. El interés por poner de manifiesto la ineficacia de la teoría formal de la verosimilitud de Popper, así como por lograr su superación, dio lugar a finales de los años setenta a una ardua e interesante polémica, de la que Rivadulla (1986, c. IV) se hace eco de modo bastante completo, en la que se vieron envueltos, entre otros, David Miller, Adolf Grünbaum, Ilkka Niiniluoto, Raimo Tuomela y el propio *Sir* Karl. Entre las propuestas más atractivas destaca la de Niiniluoto (1984, c. 7, *et passim*), quien produce una inversión de la relación entre los conceptos de inducción y verosimilitud, al hacer depender directamente la estimación del grado de verosimilitud de las teorías de su grado correspondiente de probabilidad inductiva.

Sucintamente expuesta, la teoría formal de la verosimilitud de Niiniluoto es la siguiente: supongamos que disponemos de un lenguaje artifical de primer orden sin identidad y con un número k de predicados monádicos primitivos, por medio de los cuales resulta posible construir los $K=2^k$ Q-predicados carnapianos o constituyentes atributivos $Ct_1,...,Ct_K$, que producen una partición exhaustiva y exclusiva del dominio en K tipos diferentes de individuos. A su vez, las conjunciones lógicamente posibles de estos K tipos de individuos proporcionan un número $r=2^K$ de constituyentes $C_1,...,C_r$, cada uno de los cuales afirma que en el mundo real hay instanciados un número determinado de Q-predicados o constituyentes atributivos, y que los individuos del dominio son sólo de los tipos cuya instanciación el constituyente afirma. Cada constituyente describe pues un mundo lógicamente posible. A su vez, toda generalización h de L puede ser expresada en forma normal como una disyunción finita de constituyentes. De modo que, si el mundo real viniera descrito por el constituyente designado como C_t, la generalización h sería verdadera si y sólo si su forma normal disyuntiva incluyera C_t.

Desde un punto de vista intuitivo es claro que una generalización h de L es tanto más verosímil cuanto menor es su distancia al constituyente verdadero C_t de L. La distancia $d(C_i,C_j)$ entre dos constituyentes se mide por el número de Q-predicados en que ambos divergen; la distancia $d(h,C_t)$ a que se encuentra de C_t una generalización h de L se obtiene empero calculando la media ponderada de las distancias mínima y máxima de h a C_t, pues la forma normal disyuntiva de h incluye varios constituyentes de L. Finalmente, la medida M de la verosimilitud de h viene dada como

$$M(h, C_t)=1-d(h, C_t).$$

Ahora bien, el caso usual es aquel en que el constituyente verdadero del sistema conceptual empleado es desconocido. En estas circunstancias a lo más que se puede aspirar es a calcular el *valor esperado* de la verosimilitud de las hipótesis, en base a la evidencia relevante disponible e, el cual equivale a:

$$ver\,(h, e)=\sum_{i=1}^{r} p(C_i, e)M(h, C_i),$$

siendo $p(C_i,e)$ la probabilidad lógica, inductiva o *a posteriori*, calculable en el marco del sistema bidimensional continuo de lógica inductiva de Jaakko Hintikka, de que el constituyente C_i sea verdadero. Ahora bien, este procedimiento echa por tierra el empeño de Popper por acabar con toda forma de inducción, ya que la estimación de la verosimilitud de las hipótesis científicas depende directamente del cálculo de sus correspondientes probabilidades inductivas.

VI. CONCLUSION

Las soluciones negativa y positiva de Popper del problema lógico de la inducción constituyen el estímulo para el desarrollo de las investigaciones precedentes. La reivindicación, modernización y ampliación de Popper (1934, § 1; 1963, c.I § IV; 1972, c. 1; 1974a, §§ 10 y 16; 1974b, § 13; *et passim*) de la idea implícita en Hume de que las proposiciones generales de la ciencia no se derivan lógicamente de un conjunto finito de enunciados observacionales, contribuye al rechazo definitivo de la inducción como el método del que se sirve la ciencia para el descubrimiento de la verdad. La afirmación de la inexistencia de inferencias verificadoras constituye pues la solución *negativa* que *Sir* Karl ofrece del problema de la inducción. Esta solución nos parece hoy tan obvia que apenas le hemos dedicado más atención que la que le concedemos en la introducción. Pues lo que actualmente es materia de discusión es la segunda parte de esta solución negativa, a saber, la de que las hipótesis científicas ni siquiera pueden ser justificadas como probables. El objeto del apartado II precisamente era analizar los argumentos principales de Popper contra la evaluación probabilística de las hipótesis científicas, incluidos sus ataques a los sistemas probabilísticos de Reichenbach y Carnap. Como resultado de estos análisis concluimos que Popper no ha logrado mostrar la imposibilidad de la probabilidad inductiva.

El proyecto metodológico popperiano empero no es sólo negativo, en el sentido de que intenta probar la inviabilidad de toda *posición probabilística*; también es positivo, por cuanto propone una medida nueva, alternativa a la de probabilidad inductiva, del apoyo empírico-deductivo que experimentan las teorías científicas. El apartado III muestra no obstante la debilidad de la *medida del grado de corroboración* de las hipótesis deterministas, la cual no es tan claro, como *Sir* Karl pretende, que no sea una probabilidad. Además, como Rivadulla (1991a, 61-63) asevera, hay buenas razones para sospechar que la corroboración de las hipótesis probabilísticas constituye, contra toda intuición popperiana, un procedimiento genuinamente inductivo. Finalmente, es fácil mostrar que, en el marco de la teoría bayesiana, la medida de probabilidad inductiva posee ciertas propiedades metodológicamente deseables, atribuidas por Popper a la de grado de corroboración. Sin afirmar rotundamente la posibilidad de la probabilidad inductiva, que en todo caso sólo se circunscribiría al neobayesianismo, la conclusión es que ambas medidas no se diferencian tan radicalmente como *Sir* Karl supone.

El problema de la inducción empero no sólo incumbe a los filósofos. No son pocos los manuales de estadística matemática que, o bien como título general, o bien en alguno de sus epígrafes anuncian el tratamiento de la estadística *inductiva*. Y la opinión general es que, de alguna manera, los estadísticos realizan inducciones. Opinión que, además, viene apoyada por indiscutibles autoridades en estadística, como *Sir* Ronald Fisher. El apartado IV pone de manifiesto sin embargo que allí donde la estadística matemática hace posible inferencias, éstas sólo son deductivas. En el debate inducción-deducción en la teoría de la inferencia, la estadística frecuentista o no-bayesiana se decanta por la deducción. No obstante, la inferencia bayesiana defiende el uso inductivo de la probabilidad, concebida ésta subjetivamente como grado personal de creencia, a través del teorema de Bayes en cuanto procedimiento para la transformación de opiniones iniciales acerca de la verdad de las hipótesis, en opiniones finales. En su empeño por probar la imposibilidad de la probabilidad inductiva, Popper tendría que mostrar también la inviabilidad del neobayesianismo.

La vinculación negativa entre inducción y verosimilitud se establece a través de la corroboración, pues excluida la posibilidad de inferencias verificadoras, la metodología falsacionista de la ciencia sugiere que los grados de corroboración constituyen buenos indicadores de la verosimilitud de las teorías. Pero el apartado V muestra el fracaso del intento de Popper por determinar, a través de la comparación de teorías competi-

doras por su verosimilitud, cuál de ellas es la más progresiva. Por contra, Niiniluoto, estimando los valores de verosimilitud de las teorías por medio de sus correspondientes grados de (bayesiana) probabilidad inductiva, para lo que recurre al sistema hintikkiano de lógica inductiva, vincula positivamente inducción y verosimilitud, y ofrece un argumento más en favor de la idea de que la campaña antiinductivista de Popper está lejos de alcanzar el éxito buscado.

BIBLIOGRAFIA

Carnap, R. (1952), *The Continuum of Inductive Methods*, Chicago, The University of Chicago Press, Chicago.

Carnap, R. (1959), *Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit*, Springer, Wien.

Carnap, R. (1963a), «Intellectual Autobiography», en Schilpp, P. A. (comp.), *The Philosophy of Rudolf Carnap*, Open Court, La Salle, Illinois.

Carnap, R. (1963b), «My Basic Conceptions of Probability and Induction», en Schilpp, P. A. (comp.), *op. cit.*

Essler, W. K. (1970), *Induktive Logik. Grundlagen und Voraussetzungen*, Karl Alber, Frieburg/München.

Fisher, R. A. (1922), «On the Mathematical Foundations of Theoretical Statistics»: *Phil. Trans. R. Soc. London* A *222*, 309-368.

Fisher, R. A. (1932), «Inverse Probability and the Use of Likelihood»: *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 28*, 257-261.

Fisher, R. A. (1956), *Statistical Methods and Scientific Inference*, Oilver and Boyd, Edinburg.

Hacking, I. (1980), «The Theory of Probable Inference: Neyman, Peirce, Braithwaite», en Mellor, D. H. (comp.), *Science, Belief and Behavior*, Cambridge University Press, Cambridge.

Hintikka, J. (1966), «A Two-Dimensional Continuum of Inductive Methods», en Hintikka, J. y Suppes, P. (comps.), *Aspects of Inductive Logic*, North-Holland, Amsterdam.

Hume, D. (1739), *A Treatise of Human Nature*. Edición de L. A. Selby-Bigge, Clarendon Press, Oxford, 1973.

Hume, D. (1748), *An Enquiry Concerning Human Understanding*, en Hume, D., *Enquiries concerning Human Understanding and concerning the Principles of Morals*. 3ª edic. de P. H. Nidditch, Clarendon Press, Oxford, 1975.

Neyman, J. (1952), *Mathematical Statistics and Probability*, Constable and Co., London.

Neyman, J. (1977), «Frequentist Probability and Frequentist Statistics»: *Synthese 36*, 97-131.

Niiniluoto, I., Tuomela R. (1973), *Theoretical Concepts and Hypothetico-Inductive Inference*, Reidel, Dordrecht.

Niiniluoto, I. (1984), *Is Science Progressive?*, Reidel, Dordrecht.

Popper, K. (1934), *Logik der Forschung*, Julius Springer, Wien, 8ª ed., 1984; J. C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen, v. e. de V. Sánchez de Zabala, *Lógica de la investigación científica*, Tecnos, Madrid, 1971.

Popper, K. (1963), *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*, Routledge & Kegan Paul, London, v. e. de N. Mínguez, *El desarrollo del conocimiento científico*, Paidós, Buenos Aires, 1967.

Popper, K. (1972), *Objective Knowledge*, Clarendon Press, Oxford, v. e. de C. Solís, *Conocimiento objetivo*, Tecnos, Madrid, 1974.

Popper, K. (1974a), «Intellectual Autobiography», en Schilpp, P. A. (comp.), *The Philosophy of Karl Popper*, Open Court, La Salle, Illinois, v. e. de C. García Trevijano, *Búsqueda sin término*, Tecnos, Madrid, 1977.
Popper, K. (1974b), «Replies to My Critics», en Schilpp, P. A. (comp), *op. cit.*
Popper, K. (1979), *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie*, J. C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen.
Popper, K. (1983), *Realism and the Aim of Science*, Hutchinson, London,v. e. de M. Sansigre, *Realismo y el objetivo de la ciencia*, Tecnos, Madrid, 1985.
Popper, K. (1989), «Zwei Bedeutungen von Falsifizierbarkeit», en Seiffert, H. y Radnitzky, G. (comps.), *Handlexikon zur Wissenschaftstheorie*, Ehrenwirth, München, v. e. de A. Rivadulla, «Los dos significados de *falsabilidad*»: *Revista de Filosofía 4*, 1991, No. 5.
Popper, K. y Miller, D. (1983), «A Proof of the Impossibility of Inductive Probability»: *Nature 302*, 687-688.
Popper, K. y Miller, D. (1984), «The Impossibility of Inductive Probability»: *Nature 310*, 433.
Popper, K. y Miller, D. (1987), «Why Probabilistic Support is Not Inductive»: *Phil. Trans. R. Soc. London* A *321*, 569-591.
Reichenbach, H. (1930), «Die philosophische Bedeutung der modernen Physik»: *Erkenntnis 1*, 49-71.
Reichenbach, H. (1935), «Über Induktion und Wahrscheinlichkeit»: *Erkenntnis 5*, 267-284.
Reichenbach, H. (1936a), «Warum ist die Anwendung der Induktionsregel für uns notwendige Bedingung zur Gewinnung von Voraussagen?»: *Erkenntnis 6*, 32-40.
Reichenbach, H. (1936b), «Die Induktion als Methode der wissenschaftlichen Erkenntnis»: *Actualités Scientifiques et Industrielles 391*, 1-7.
Rivadulla, A. (1986), *Filosofía actual de la ciencia*, Tecnos, Madrid.
Rivadulla, A. (1987a), «Claves para una teoría de la racionalidad científica»: *Teorema 14/1-2*, 33-49.
Rivadulla, A. (1987b), «Kritischer Realismus und Induktionsproblem»: *Erkenntnis 26*, 181-193.
Rivadulla, A. (1987c), «On Popper-Miller's Proof of the Impossibility of Inductive Probability»: *Erkenntnis 27*, 353-357.
Rivadulla, A. (1988), «Inductive Probability and Scientific Rationality»: *Theoria 10*, 217-225.
Rivadulla, A. (1989), «Probabilidad inductiva»: *Arbor 523-524*, 61-74.
Rivadulla, A. (1991a), *Probabilidad e Inferencia Científica*, Anthropos, Barcelona.
Rivadulla, A. (1991b), «Mathematical Statistics and Metastatistical Analysis»: *Erkenntnis 34*, 211-236.

CONCEPTOS TEORICOS Y TEORIAS CIENTIFICAS

C. Ulises Moulines

0. INTRODUCCION

Las disciplinas científicas se caracterizan, entre otras cosas, por el uso de un vocabulario específico, de ciertas palabras y expresiones que no son del acervo común de los lenguajes comunmente hablados, sino que son introducidas especialmente en un contexto científico. El sentido de tales términos no puede ser apresado plenamente si no se tiene un conocimiento mínimo de la disciplina en la que aparecen. No nos referimos aquí a expresiones procedentes del lenguaje matemático puro (expresiones aritméticas, geométricas o algebraicas, por ejemplo), sino a términos que tienen, o pretenden tener, una referencia en la realidad empírica, pero cuyo manejo adecuado es muy difícil, cuando no imposible, para personas que no estén suficientemente entrenadas en la disciplina en la que aparecen. Ejemplos de tales términos o expresiones, característicos de distintas disciplinas científicas, son: «fotón», «spin», «campo electromagnético», «entropía», «momento angular», «ion», «placa tectónica», «gen», «reflejo condicionado», «plusvalía», «juego de suma cero». Algunos de ellos han hecho ya su entrada en el lenguaje común no-científico, como es el caso de «entropía», «reflejo condicionado» o «plusvalía», pero, incluso en esos casos, su uso por parte de los hablantes no especializados suele ser metafórico, inseguro; en definitiva, el hablante normal es consciente de no ser capaz de usarlos con la misma soltura y propiedad con las que usa los términos usuales de su vida cotidiana, como «agua», «árbol», «montaña», «casa», etc.

La especificidad del primer grupo de términos no consiste meramente en que fueron introducidos en algún momento del desarrollo científico. Muchos términos que deben su introducción al desarrollo científico y, sobre todo, tecnológico, y que por tanto no existían en las lenguas naturales antes de la Revolución científica, son ahora de uso común; tales son: «gas», «microscopio», «célula», «inflación». Probablemente, muchos de estos términos de origen científico que ahora son del acervo común fueron en su origen igual de difíciles de manejar que los primeros mencionados; y probablemente algunos de éstos acaben por ser tan cotidianos como «gas» o «microscopio». Sin embargo, con independencia del desarrollo histórico de la cultura humana, lo que podemos constatar es que, en cada corte sincrónico en la evolución de la ciencia, nos encontramos con una serie de expresiones que sólo son realmente inteligibles y empleadas de manera pertinente por los expertos en una disciplina dada.

Lo esencial en los términos a los que nos referimos no es pues que tengan un origen científico, sino que su uso sólo puede estar sancionado por una teoría científica, y que sólo quien conozca bien esa teoría, podrá hacer un uso genuino de ellos. Así, quien no tenga idea de termodinámica, no podrá emplear apropiadamente la palabra «entropía»; sólo un geólogo sabe realmente de qué está hablando cuando usa «placa tectónica», y sólo en el contexto de la teoría de juegos tiene un sentido preciso la expresión «juego de suma cero». En consecuencia, es adecuado caracterizar estas expresiones específicas del lenguaje científico como «*términos* teóricos». (En lo sucesivo, se hablará de «*términos* teóricos» cuando se quiera hacer hincapié en ellos en tanto que entidades lingüísticas que aparecen en la formulación canónica de una teoría, y de «*conceptos* teóricos», de un modo más general, cuando la discusión no presuponga una formulación específica.) A todas las demás expresiones referidas a la realidad empírica, que no son términos teóricos, las llamaremos de momento simplemente «términos no-teóricos».

La presencia de términos teóricos en las diversas disciplinas científicas es algo más que una mera curiosidad filológica. Ella les plantea al filósofo que reflexiona sobre la ciencia y al científico que se interesa por los fundamentos de su propio quehacer una serie de cuestiones que trascienden el horizonte estrictamente lingüístico. Estas cuestiones son de orden:

—semántico-filosófico: ¿cuál es el significado de los términos teóricos y cómo se relaciona con el significado de los términos no-teóricos?

—epistemológico: ¿son esenciales los conceptos teóricos al conocimiento genuinamente científico? ¿Son responsables de un tipo de conocimiento distinto del ordinario?

—ontológico: ¿existen los referentes de los términos teóricos?; ¿existen en el mismo sentido en que existen los referentes de palabras tales como «agua», «árbol», «casa», etc.?

—metodológico; ¿juegan un papel especial en la capacidad explicativa y predictiva de las teorías científicas?

—metateórico: ¿qué implicación tiene la presencia de términos teóricos para la estructura de las teorías científicas? ¿Son las teorías científicas justamente *teorías* (y no meras compilaciones de datos o de regularidades) por el hecho de estar construidas *con* conceptos teóricos?

Todas estas cuestiones no son en absoluto triviales. Antes bien, han jugado un gran papel en el desarrollo de la filosofía de la ciencia del siglo XX; incluso puede decirse que fueron determinantes en la constitución de la filosofía de la ciencia como disciplina relativamente autónoma a partir de los años treinta. Muchos de los más connotados filósofos de la ciencia de nuestra época han tratado de dar respuestas sistemáticas y detalladas a esas preguntas que, genericamente y con cierto abuso del lenguaje, podemos englobar bajo el rótulo «problema de los términos (o conceptos) teóricos». Recordemos sólo a algunos de ellos (por orden cronológico): Frank P. Ramsey, Rudolf Carnap, Carl G. Hempel, Herbert Feigl, Richard Braithwaite, Ernest Nagel, Hilary Putnam, Wolfgang Stegmüller y Joseph D. Sneed.

No todos los epistemólogos influyentes de este siglo se han ocupado del problema de los términos teóricos. Algunos simplemente lo han ignorado (como Patrick Suppes), otros lo han considerado de importancia secundaria. Así Karl R. Popper y sus discípulos consideran que la distinción entre conceptos teóricos y no-teóricos es sólo una «cuestión de grado», sin especial importancia metodológica o epistemológica; parecida es la opinión de Clark Glymour, aunque difiera de Popper en tantos otros respectos; finalmente, algunos como Feyerabend consideran que la discusión en torno a los términos teóricos es sólo una entelequia de filósofos, un problema artificial construido por filósofos sin verdadero contacto con la realidad del desarrollo científico.

La opinión de que el problema de los términos teóricos carece de importancia epistemológica, y aún más la idea de que es un artificio de filósofos, es no sólo errónea por razones sistemáticas, sino que revela un desconocimiento pasmoso de la historia de las reflexiones metodológicas emprendidas *por los propios científicos* desde hace tres siglos, como indicaremos a continuación. Por lo demás, el problema de los términos teóricos no es sólo significativo por sí mismo, es decir, por las dificultades que plantea la existencia de tales términos en la ciencia, sino también porque él va íntimamente ligado a otro problema metateórico, quizás el más crucial en la filosofía de la ciencia: la naturaleza de esas entidades que llamamos «teorías científicas». La solución que se dé al problema de los términos teóricos condiciona y es condicionada por la concepción que se tenga de las teorías científicas en general.

I. SURGIMIENTO DEL PROBLEMA DE LOS CONCEPTOS TEORICOS

La Revolución científica del siglo XVII se puso en marcha bajo el signo de un rechazo radical de la metafísica escolástica. Este rechazo es explícito en los grandes iniciadores de esta revolución (Kepler, Galileo, Francis Bacon, Descartes) y sus discípulos, independientemente de las diferentes filosofías por ellos adoptadas. Se achacaba a la metafísica escolástica (el parangón de la metafísica en general) el haber impedido el genuino conocimiento científico por el abuso de términos abstractos, vacíos de contenido empírico. Incluso un racionalista matemático como Descartes intentó, en su obra sobre mecánica, que sus términos fundamentales (velocidad, tamaño, choque) estuvieran lo más estrechamente asociados posible a lo empíricamente constatable. El rechazo de la metafísica escolástica por parte de los científicos del XVII forma parte de una atmósfera intelectual más general, enemiga de la palabrería hueca y precursora del espíritu iconoclasta de la Ilustración. Recuérdese la mofa que hace Molière de la «virtud dormitiva» como pretendido principio para explicar el sueño —el paradigma de hueca explicación escolástica de un fenómeno natural—. Lo que más aborrecía el científico medio del siglo XVII era la introducción de tales «cualidades ocultas», como se las llamaba, en la explicación científica.

Ahora bien, paradójicamente, fue la obra culminante de la Revolución científica, los *Principia* de Newton, la que justamente dio la impresión de volver a introducir las «cualidades ocultas» por la puerta trasera. En efecto, en esa obra jugaba un papel central la noción de fuerza de gravedad (y la noción de fuerza en general), que a los científicos y filósofos más esclarecidos contemporáneos de Newton les había de parecer, por su carácter abstracto, un hermano gemelo de la «virtud dormitiva» de Molière. Los dos contemporáneos quizás más brillantes de Newton —Huygens y Leibniz—, a pesar de reconocer el gran talento matemático del primero, se negaron a admitir el valor físico de su sistema, justamente por las «cualidades ocultas» que parece contener, especialmente con su concepto universal de fuerza. Ambos rechazaron lo que calificaban de «extraña metafísica» (cf. Moulines, 1976).

Aunque la mecánica de Newton acabó por imponerse, no por ello dejaron de provocar inquietud sus fundamentos conceptuales en los físicos de los siglos siguientes. A mediados del siglo XVIII, Jean-le-Rond d'Alembert se propone en su *Traité de Dynamique* proscribir las fuerzas newtonianas, a las que califica de «seres oscuros y metafísicos, que no son aptos más que para difundir las tinieblas en una ciencia que en sí misma debería ser clara» (cf. Moulines, 1975, 35). El propósito no tuvo una realización muy efectiva, pues los físicos siguieron operando, aunque fuera con mala conciencia, con entidades tales como fuerzas de atracción, acciones a distancia, espacio y tiempo absolutos. Más de un siglo más tarde, Ernst Mach, Gustav Kirchhoff y Heinrich Hertz (todos ellos primariamente físicos y sólo secundariamente filósofos) volvieron a la carga para «purificar» los fundamentos de la mecánica de lo que ellos consideraban su lastre metafísico. Mach incluso fue un paso más allá que los demás y propuso eliminar el concepto de masa, reteniendo sólo las nociones cinemáticas relativas a un observador como aquellas dignas de constituir la base conceptual de la mecánica (cf. Moulines, 1975). Lo que estos investigadores reprochaban a conceptos tales como «fuerza», «masa», «espacio absoluto», «acción a distancia» (y también luego «éter», «campo electromagnético» y «átomo») era el no tener una refe-

rencia empírica directamente contrastable, el no referirse a «observables», como hoy diríamos y con ello abrir la puerta a una metafísica que nadie (los científicos en primer lugar) quería tener metida en la ciencia.

Sin embargo, al mismo tiempo era claro que conceptos tales como los mencionados estaban tan enraizados en la formulación de las mejores teorías físicas del momento, que el programa de «eliminación de la metafísica» sólo tenía posibilidades de éxito si se sometía el edificio de la física (y de la ciencia empírica en general) a una transformación radical, a una «reconstrucción racional». Ésta fue la bandera que iban a retomar, ya entrado el siglo XX, algunos de los miembros del Círculo de Viena, sobre todo Carnap. Y así es como nació el problema de los términos teóricos: no como invento caprichoso de filósofos sin relación con la ciencia, sino como programa sistemático alentado por la conciencia de un problema que los físicos habían sentido como propio desde por lo menos las postrimerías del siglo XVII.

II. EL PROGRAMA REDUCCIONISTA

Para Mach, Hertz y tantos otros de los físicos y filósofos de la física de hace cien años (entre ellos el joven Einstein), un concepto físico era admisible solamente si se refería directamente a alguna entidad observable, o bien era «reducible» a una entidad observable. Cualquier término que no fuera observacional, o reducible a términos observacionales, debía ser eliminado del vocabulario de la física. Este principio metodológico había de tener consecuencias no sólo para la reconstrucción de las teorías ya existentes, sino para la construcción de nuevas teorías —como lo prueba el caso de la teoría especial de la relatividad: en el proceso de definir un concepto puramente observacional (u «operacional», como a veces también se dice) de simultaneidad, se eliminan del discurso científico las nociones newtonianas de espacio y tiempo absolutos.

Pero, ¿qué significa exactamente «reducir» un concepto teórico dado a otros conceptos supuestamente observacionales? La forma a primera vista más plausible de entender semejante reducción es en el sentido de una definición o cadena de definiciones. Si un término «sospechoso de metafísica» es definible, aunque sea a través de cadenas más o menos largas y complicadas, a partir de términos que claramente se refieren a observables, entonces el término en cuestión queda libre de sospecha y puede seguir siendo empleado en el discurso científico; de lo contrario, debe ser desechado.

El programa de «purificación antimetafísica» de las ciencias empíricas dependía, pues, de la noción clave de definibilidad. Esta noción, sin embargo, es más difícil de precisar y aplicar de lo que a primera vista parece. Muchas veces creemos haber propuesto una buena definición que luego, ante un análisis cuidadoso, resulta no ser tal. Ello le ocurrió justamente a Mach. En su artículo de 1868 creyó haber definido el concepto de masa en función de conceptos puramente cinemáticos; sin embargo, puede mostrarse formalmente que la definición es defectuosa por no ser generalizable en el sentido que pretendía Mach (cf. Suppes, 1957, c. VI). En realidad, sería injusto echarle en cara esta deficiencia a Mach, por cuanto una teoría formal adecuada de la definición no iba a surgir sino ya entrado el siglo XX, sobre todo con los trabajos de Padoa y Lésniewski, que a su vez presuponían la lógica matemática moderna. La realización efectiva del programa de depuración conceptual de los físicos tenía que ir de la mano de la aplicación de las herramientas formales de los lógicos, en especial por lo que concierne a la cuestión de la definibilidad.

Un requisito fundamental para garantizar una definición correcta de un predicado P en función de otros $Q_1,...,Q_n$ es que se pueda formular un bicondicional generalizado en el que P aparece solo a la izquierda del bicondicional (el *definiendum*) mientras que a la derecha aparecen $Q_1,...,Q_n$ en cierta combinación lógica. De esta manera garantizamos que todos y sólo los casos de aplicación de P sean también los casos de aplicación de la combinación de $Q_1,...,Q_n$. Supongamos, por ejemplo, que consideramos a los predicados relacionales «x es padre de y», «x es madre de y» y «x es hermano de y» como claramente observacionales, mientras que tenemos sospechas sobre la observacionalidad de «x es tío de y». Podemos «salvar» la noción de tío definiéndola de esta manera:

Para todos x e y: x es tío de y si y sólo si existe z tal que: x es hermano de z, y z es padre de y o z es madre de y.

Abreviado simbolicamente:

$$\forall x\ \forall y(xTy) <-> \exists\ z(xHz) \wedge (zPy \vee zMy).$$

Con ello podemos decir que hemos *reducido* el predicado T («tío») a los predicados H, P y M («hermano», «padre», «madre»), pues efectivamente la fórmula anterior cumple las condiciones de una buena definición.

El programa de fundamentación conceptual de las ciencias empíricas consistió pues, en su primera fase, en proporcionar tales bicondicionales (por complicados que fueran) para todos los términos problemáticos de las ciencias empíricas —precisamente términos teóricos como «electrón», «entropía», «gen», «plusvalía», etc.—, de modo que cada uno de ellos apareciera como *definiendum* de un bicondicional (o una cadena de bicondicionales), cuyo *definiens* (al final) consistiera de términos indudablemente observacionales. En tal caso, todos los problemas arriba mencionados (semánticos, epistemológicos, ontológicos, etc.) con respecto a los términos teóricos se disolverían al ser reformulables en función de términos observacionales aparentemente no problemáticos —o al menos no más problemáticos que términos cotidianos como «agua», «casa», etc.

Esta disolución de la problemática específica de los términos teóricos, sin embargo, sólo está garantizada si se cumplen dos supuestos: 1) que,

efectivamente, para *todos* los términos teóricos presentes en las ciencias podemos formular los bicondicionales requeridos; 2) que hay consenso acerca de cuáles son los «términos indudablemente observacionales» que están en la base de las definiciones. Ninguno de ambos requisitos es evidente. Es más, el desarrollo ulterior de la filosofía de la ciencia iba a mostrar que ninguno de ambos supuestos es realizable o, dicho más cautelosamente (porque no existe ninguna prueba formal al respecto), que no hay ninguna buena razón para pensar que lo son.

Carnap fue el primer autor que se propuso resolver de manera sistemática y efectiva ambos problemas en su ingente obra *La construcción lógica del mundo* (cf. Carnap, 1928). Como lenguaje observacional de base (que en lo sucesivo abreviaremos por «L_0»), Carnap escogió lo que se denomina un «lenguaje fenomenalista», es decir, un lenguaje cuyo vocabulario no puramente lógico o matemático se refiere a las experiencias de un sujeto. Para ello se inspiró en la idea informalmente esbozada por Mach en su principal obra epistemológica, *Análisis de las sensaciones* (cf. Mach, 1883). El lenguaje fenomenalista de Carnap contiene términos relacionales del tipo «x es una experiencia cromática semejante a y». Con esta exigua base, cuyo carácter observacional parece evidente, Carnap logra definir efectivamente, mediante los instrumentos formales de la lógica, la teoría de conjuntos y la topología, una serie de importantes conceptos psicológicos más teóricos (como «cualidad sensible», «espacio visual», etc.). Sin embargo, la empresa se tambalea en el paso crucial a los conceptos fundamentales de la física. Carnap presentó fórmulas reductivas de términos fundamentales como «punto espaciotemporal», «línea-universo» y otros semejantes en función de su L_0; pero se equivocó al pensar que esas fórmulas eran auténticas definiciones (cf. Moulines, 1991). Más bien se trata de lo que en la terminología metodológica posterior se denominarían «reglas de correspondencia».

Pocos años después de publicar su *Construcción lógica del mundo*, Carnap abandonó el programa fenomenalista de reducción de los conceptos teóricos e intentó fijar L_0 mediante un vocabulario estrictamente *fisicalista*, es decir, con términos cuyos referentes fueran objetos o procesos macroscópicos ordinarios, ejemplificados paradigmáticamente por lo que encontramos en un laboratorio científico —términos tales como «mesa», «regla», «tubo», «aguja» y operaciones físicas asociadas a ellos—. Este cambio de enfoque no se debió tanto a las dificultades encontradas al tratar de definir términos de la física en función de experiencias perceptuales —dificultades que, a primera vista, podían considerarse meramente técnicas y que podrían resolverse en el futuro—, cuanto porque Otto Neurath convenció a Carnap de que un lenguaje fenomenalista era por principio inadecuado debido a la falta de intersubjetividad de sus referentes. El fenomenalismo parecía llevar a un solipsismo incontrolable.

Dejaremos aquí abierta la cuestión de hasta qué punto la acusación de subjetivismo contra el programa inicial de Carnap estaba realmente justificada. En cualquier caso, Carnap y Neurath esbozaron el programa fisicalista de reducción en una serie de artículos que publicaron en la revista *Erkenntnis* en los años treinta (cf. también Ayer, 1959). Dentro de un espíritu parecido, aunque con menor rigor lógico, hay que ver el operacionalismo del físico P.W. Bridgman por la misma época. Según éste, el significado auténtico del término teórico «temperatura», por ejemplo, se reduce a la serie de operaciones e indicaciones observables asociadas al aparato llamado «termómetro».

Tanto el fisicalismo de Carnap/Neurath como el operacionalismo de Bridgman fueron muy influyentes en la discusión posterior, y no sólo dentro de la filosofía de la ciencia, sino también como programas para colocar sobre fundamentos sólidos a las disciplinas científicas más «jóvenes». Así, el conductismo de B.F. Skinner en psicología o la lingüística de Bloomfield pueden verse como aplicaciones a disciplinas particulares de esa idea general. Y, a partir de entonces, cuando en la discusión epistemológica se habla de «lenguaje observacional» se suele pensar en el vocabulario sobre objetos macroscópicos de laboratorio en el que pensaban Carnap, Neurath y Bridgman, y no en las «sensaciones» de Mach o las «experiencias» del *Aufbau*.

Ahora bien, tanto el fisicalismo como el operacionalismo han resultado de hecho inviables. El primer golpe rudo lo sufrieron por mano del propio Carnap, en sus investigaciones de *Testability and Meaning* (cf. Carnap, 1936-37). En esta monografía demuestra Carnap que, al menos con los instrumentos formales clásicos, no es posible definir los términos *disposicionales* (es decir, los que se refieren a disposiciones de objetos o sistemas) en función de términos observacionales. Ejemplos típicos de términos disposicionales son: «soluble», «elástico», «conductor», «apareable», «inteligente». Está claro que estos términos no designan entidades o propiedades directamente observables: por ejemplo, si predicamos la solubilidad de un terrón de azúcar, no predicamos una propiedad directamente percibible como pueda ser su color blanco o bien su carácter rugoso al tacto. Pero, a primera vista, nada parece más fácil que definir la solubilidad de una sustancia en agua, atendiendo a operaciones y reacciones directamente observables, por ejemplo estableciendo:

«x es soluble (en agua) si y sólo si, en caso de que introduzcamos x en agua, x se disuelve».

Simbólicamente:

$\forall x(Sx \leftrightarrow (IA\, x \rightarrow \mathrm{D}x)$.

Sin embargo, tomemos un pedazo de papel, digamos *p*, que nunca haya sido introducido en agua y que quemaremos antes de que nadie pueda introducirlo en agua. Para este *p* se cumple: no-IA*p*. Por las reglas de la lógica clásica se infiere de ahí que el condicional del *definiens* anterior, «*IAp* -> *Dp*», es verdadero, y por tanto también lo resultará el *definiendum*, o sea, *Sp*. De acuerdo a la definición propuesta, ese pedazo de papel resulta ser un objeto soluble en agua, por el mero hecho de no haber sido introducido nunca en agua. Lo cual, naturalmente, es inadmisible.

Ésta es una constatación válida para todas las disposiciones. Precisamente porque tales conceptos cubren condiciones hipotéticas que quizás nunca se realizarán o incluso no pueden realizarse por principio, su significado no puede agotarse en una serie de predicados puramente observacionales. Por otro lado, sería absurdo eliminarlos del discurso científico por «metafísicos»: ellos abundan en todas las disciplinas científicas, y muchas teorías bien establecidas no podrían formularse sin ellos.

Ahora bien, no son sólo los términos disposicionales los que causan este género de dificultades. Carnap, Hempel y otros autores pronto se percataron de la imposibilidad, o al menos inverosimilitud, de definir otros tipos de términos, aún más centrales en muchas disciplinas científicas, en función de términos observacionales en el sentido fisicalista (y por supuesto también en el fenomenalista). Aparte de la categoría de los conceptos disposicionales, hay por lo menos otros tres grandes tipos de términos teóricos para los que, por razones análogas, no parece posible una reducción definicional a L_o. Estos tipos son:

a) *Conceptos métricos o magnitudes*

Son la inmensa mayoría de los conceptos fundamentales de la física y de buena parte de las demás disciplinas (ejemplos: «longitud», «masa», «energía», «carga eléctrica», «vida media», «cociente de inteligencia», «precio de equilibrio»). Estos conceptos son funciones en el sentido matemático; asignan números reales a objetos empíricos. La razón por la que estos conceptos no son definibles en términos observacionales no es tanto que, por ser funciones reales, pueden tomar valores irracionales que en consecuencia son imposibles de «observar» (nadie puede percibir una longitud de exactamente $\sqrt{2}$ centímetros), como al principio creyeron Carnap y Hempel[1]; la razón fundamental es más bien que lo característico de las magnitudes físicas (o de otras disciplinas metrizadas) es que haya para ellas diversos procedimientos de medición, asociados a diversas operaciones de laboratorio, y de modo tal que los procedimientos operacionales de medición pueden cambiar drásticamente con el desarrollo científico; ello no obsta para que consideremos que esa serie abierta de procedimientos «observacionales» de medición fijan una y la misma magnitud —precisamente porque esa magnitud forma parte de una y la misma teoría[2].

1. Esa sería en realidad una razón espuria para la no-observacionalidad de las magnitudes; en efecto, sus valores irracionales podrían definirse, mediante el procedimiento de las sucesiones de Cauchy, a partir de valores racionales, todos los cuales, al menos en principio, son observables (cf. Stegmüller, 1970, 272ss).

2. Para más detalles sobre este aspecto de las magnitudes cf. Moulines, 1986.

b) *Idealizaciones o conceptos ficcionales*

En las ciencias avanzadas, sobre todo cuando están matematizadas, suelen aparecer conceptos de los que la disciplina misma afirma que ninguna entidad real cae bajo ellos. Ejemplos: «punto-masa», «*perpetuum mobile*», «gas ideal», «agente económico». Nótese que no se trata aquí de términos puramente matemáticos (aun cuando su introducción suele ir de la mano de la matematización de una teoría); por el contrario, aunque su referente es vacío, van asociados como idealizaciones o «aproximaciones» a entidades reales; por ejemplo, a partículas reales, máquinas reales, gases reales o seres humanos de carne y hueso. Por otro lado, sería erróneo considerarlos como términos superfluos. Muchas veces (como en los ejemplos considerados), la teoría a la que pertenecen, y que es una buena teoría empírica, no sería ni siquiera formulable sin ellos.

c) *Términos con referente real, pero inobservables por principio*

Son típicos de las teorías microfísicas («fotón», «electrón», *quark*), aunque posiblemente no sólo aparezcan en ellas. (En psicología podemos encontrarnos con tales conceptos también, por ejemplo, el de subconsciente.) En tales casos, no se trata de ficciones o idealizaciones como en el caso precedente; la teoría correspondiente supone que los referentes de esos términos existen en la realidad física (o psíquica); pero a la vez afirma la imposibilidad de observarlos, incluso en un sentido lato de «observar», debido a principios básicos de la propia teoría (el principio de incertidumbre de Heisenberg, por ejemplo, en el caso de «electrón»). Lo que se observa en todos estos casos no es el referente mismo del término sino sus efectos muy indirectos, que la teoría nos permite interpretar como asociados a ellos (por ejemplo, ciertas trazas en una cámara de burbujas). Por ello, a los referentes de los términos del tipo *c)* (y sólo a ellos) podemos caracterizarlos de «entidades teóricas».

III. ELIMINABILIDAD NO-DEFINICIONAL DE LOS TERMINOS TEORICOS

La inviabilidad del programa definicional para los términos teóricos no implica por sí misma que no sea posible eliminar de alguna otra forma los términos teóricos de las teorías científicas sin perjuicio del contenido empírico de las mismas. Pueden idearse métodos de sustitución de una versión con términos teóricos por otra sin ellos que sea equivalente a la primera desde el punto de vista empírico. Existen de hecho dos métodos de sustitución semejantes, debidos a Craig y Ramsey, respectivamente. El segundo ha tenido mayor influencia en la discusión posterior que el primero.

William Craig demostró (cf. Craig, 1956) con la ayuda de un teorema de la lógica pura previamente demostrado por él mismo (el llamado

«teorema de la interpolación») que una teoría axiomatizada que contiene términos teóricos básicos puede ser sustituida por otra teoría, también axiomatizable, que carezca totalmente de ellos pero que tenga el mismo contenido empírico que la primera en el sentido de que todas y sólo las consecuencias observacionales de la primera lo son también de la segunda. La prueba del teorema de Craig es bastante técnica y hace uso del método llamado de «gödelización» (asignación de números a las expresiones de un lenguaje). Como cuestión de principio puede decirse que, gracias al teorema de Craig, los términos teóricos de cualquier teoría axiomatizada son superfluos. Sin embargo, como cuestión de hecho no lo son, pues la teoría sustitutiva puramente observacional demuestra ser inmanejable: aunque es en principio axiomatizable, contiene un número potencialmente infinito de axiomas pues, dicho brevemente, a cada consecuencia observacional de la teoría original le corresponde su propio axioma.

Más interesante desde un punto de vista epistemológico es el método Ramsey. En este caso, la teoría sustitutiva tiene una estructura algo más manejable que en el caso de Craig. La idea es la siguiente. Sea una teoría empírica axiomatizada T cuyos términos teóricos son $t_1,...,t_n$ y los observacionales $o_1,...,o_m$. Reunamos todos los axiomas de T en una sola conjunción que simbolizaremos por $T(t_1,...,t_n,o_1,...,o_m)$. Sustituyamos ahora los términos $t_1,...,t_n$ por variables libres $x_1,...,x_n$ que ligaremos mediante un cuantificador existencial, obteniendo el enunciado:

$$\exists\, x_1,...,x_n\ T(x_1,...,x_n,o_1,...,o_1,...,o_m).$$

(Éste es el llamado enunciado Ramsey de la teoría T.) Lo que Ramsey mostró —la prueba es bastante sencilla— es que las consecuencias observacionales del enunciado Ramsey de T son exactamente las mismas que las de la propia T. Dicho intuitivamente, si sólo nos interesáramos por el contenido observacional de una teoría, podríamos hacer como si sus términos teóricos no designaran nada, sino que fueran sólo variables que podemos relacionar con los términos observacionales (que sí tienen significado preciso) y cuantificar existencialmente, de tal modo que el enunciado complejo resultante tendrá las mismas consecuencias observacionales que la versión original de la teoría.

No hay que entender tampoco el método Ramsey como una recomendación práctica de «reescritura» de las teorías científicas, pero sí como la «prueba» de que, desde un punto de vista *epistemológico*, los términos teóricos son superfluos; siempre y cuando, claro está, concordemos en que lo único que nos interesa conocer de la realidad son sus aspectos observables.

A un nivel más profundo, lo que el método Ramsey indica es que, en realidad, los términos teóricos son expresiones sin significado fijo, de «interpretación abierta». Y de ahí, a su vez, se desprende que los enunciados teóricos aislados no son verdaderos enunciados en el sentido de que por sí solos puedan ser verdaderos o falsos, sino que son más bien formas proposicionales. Sólo el enunciado Ramsey, como unidad global significativa de una teoría, es verdadero o falso.

Es importante notar que el método Ramsey es independiente de cómo se trace la demarcación entre los términos teóricos y los observacionales, y en especial de si esa distinción se hace de manera universal y absoluta, o bien sólo relativa a cada teoría considerada. Cuando presuponemos que la distinción entre términos teóricos y observacionales no es dependiente de cada teoría, es decir, cuando presuponemos un criterio universal y absoluto de teoricidad, nos hallamos en el marco de lo que se ha llamado «la concepción de los dos niveles (del lenguaje científico)».

IV. LA CONCEPCION DE LOS DOS NIVELES

Esta concepción es un componente importante de la filosofía clásica o estándar de la ciencia, aunque por supuesto no es su único aspecto. Si adoptamos un criterio universal de teoricidad, aplicable por igual a cualquier teoría de cualquier disciplina científica, la imagen que resulta de la «estructura profunda» conceptual de la ciencia es la de un inmenso edificio de dos pisos (el superior mucho «más alto» que el inferior): el piso teórico y el observacional. Cada teoría científica viene representada, por así decir, por una sección vertical del edificio, conectando ciertas habitaciones superiores con ciertas habitaciones inferiores. Los enunciados puramente teóricos (los que se hallan sólo en el piso superior) nos permiten sacar consecuencias puramente observacionales (que se hallan en el piso inferior) con la ayuda de enunciados mixtos teórico-observacionales (una especie de ascensores entre uno y otro piso), las llamadas «reglas de correspondencia». Por el método Ramsey sabemos que, si sólo nos interesa averiguar lo que ocurre en el piso inferior, podemos prescindir del significado concreto de los enunciados del piso superior y tomarlos sólo como herramientas prácticas para pasar de una estancia del piso inferior a otra estancia del mismo piso inferior (explicaciones y predicciones observacionales).

Esta concepción no sólo atañe a la relación entre conceptos observacionales y teóricos, sino a la idea misma de teoría científica. Ya en una de las primeras expresiones clásicas de esta concepción leemos:

> Una teoría científica puede compararse, por tanto, a una red espacial compleja: sus términos vienen representados por los nudos, mientras que los hilos que los conectan corresponden, en parte, a las definiciones y, en parte, a las hipótesis fundamentales y derivadas incluidas en la teoría. El sistema en su conjunto flota, por así decir, por encima del plano de la observación y está anclado en él por las reglas de interpretación (= reglas de correspondencia). Éstas pueden concebirse como cuerdas que no son parte de la red pero que vinculan ciertas partes de la misma con lugares específicos en el plano de la observación (cf. Hempel, 1952).

V. CRITICAS A LA CONCEPCION DE LOS DOS NIVELES

La distinción absoluta y universal entre lo teórico y lo observacional, y la concepción de las teorías concomitantes, han sido sometidas a crítica radical por diversos autores, tanto por lo que se refiere al concepto de observacionalidad como al de teoricidad. Los filósofos «historicistas» de la ciencia, como Norwood R. Hanson, Thomas S. Kuhn y Paul K. Feyerabend, han sostenido la llamada «tesis de la carga teórica universal», según la cual todo concepto científico (e incluso los de la vida cotidiana) están impregnados de teorías implícitas por lo que, en definitiva, todo concepto es teórico. Por tanto es espuria cualquier división entre dos niveles conceptuales en la ciencia.

El alcance de la tesis de la carga teórica universal posiblemente ha sido sobrevalorado en la discusión contemporánea. Es plausible admitir que los conceptos observacionales están, en algún sentido, «impregnados» de supuestos teóricos (aunque habría que precisar qué significa ello exactamente); pero de ahí a concluir que no puede trazarse ninguna distinción con sentido, en ningún contexto, entre nociones observacionales y teóricas, hay un salto lógico. Por lo demás, la tesis de la carga teórica universal tomada literalmente (como parece proponerla Feyerabend) conduce inevitablemente a un subjetivismo radical y a una auto-refutación (cf. Scheffler, 1967, c. 1 y 3). El único aspecto realmente plausible de la tesis, que se desprende de la mayoría de ejemplos históricos aducidos por Hanson y otros, es que toda observación científica presupone una asunción previa de un sistema conceptual clasificatorio; pero calificar tal sistema de «teoría» proviene de un uso inflacionario del término (cf. Nola, 1987).

Más pertinente es la crítica, expresada entre otros por el propio Hempel (cf. Hempel, 1971) de que el concepto de observacionalidad es históricamente relativo: lo que para los científicos de una época pasaba por ser un constructo teórico, en una época posterior (gracias al entreno y al desarrollo tecnológico) puede convertirse en observacional (cf. también Scheffler, *op. cit.*).

Otro tipo de críticas son las que atañen a la idea de concepto teórico, a su insuficiente o errónea elucidación. Desde diversas perspectivas se ha señalado que entender los términos teóricos de manera «negativa», simplemente como aquellos que no son observacionales, es inadecuado. Así, Bar-Hillel aduce que no hay que confundir la dicotomía observacional/no-observacional con la dicotomía teórico/no-teórico, y que la que realmente interesa para el análisis lógico de las teorías científicas es la segunda (cf. Bar-Hillel, 1970). En una línea análoga hay que ver lo que Stegmüller en su momento popularizó como «el reto de Putnam» (cf. Stegmüller, 1973, 51). En efecto, Putnam criticaba en un artículo de 1962 el modo como se había llevado a cabo hasta entonces la discusión en torno a los términos teóricos, al no poner en claro antes que nada qué es lo realmente *distintivo* de tales términos y cuál es la relación que guardan con las teorías de las que proceden (cf. Putnam, 1962, 243). Para Putnam, la problemática estaba obviamente conectada con una concepción (hasta entonces errónea) de lo que son las teorías.

El «reto de Putnam» fue desoído por la mayoría de filósofos de la ciencia contemporáneos, excepto por Sneed y Stegmüller. Estos autores se propondrían darle una respuesta precisa y adecuada, y con ello iniciarían una nueva concepción de las teorías científicas, que más tarde se ha dado en llamar «la concepción estructuralista».

VI. EL CRITERIO DE *T*-TEORICIDAD EN LA CONCEPCION ESTRUCTURALISTA

El nuevo enfoque de los términos teóricos no es la única característica original de la concepción estructuralista. En realidad, ésta es una metateoría de las teorías empíricas relativamente compleja (al menos más compleja que la concepción de los dos niveles), que intenta apresar, mediante un aparato modelo-teórico refinado, diversos aspectos esenciales de las teorías empíricas y sus relaciones mutuas. La noción de «término *T*-teórico» juega en la metateoría estructuralista un papel ciertamente importante, pero junto a otras nociones y distinciones igualmente fundamentales. Aquí no podemos entrar, ni siquiera someramente, en los principios básicos de esa concepción[3]. A los efectos de la discusión presente baste indicar que la idea básica de la concepción estructuralista consiste en tomar modelos (en tanto que estructuras) y no enunciados como las unidades fundamentales del conocimiento científico. Cada teoría viene caracterizada por un conjunto de modelos de estructura idéntica, o dicho más exactamente, por un conjunto de modelos *potenciales* y un conjunto de modelos *actuales,* subconjunto del primero. El primer conjunto corresponde a lo que podríamos llamar el «marco conceptual» de la teoría; el segundo añade a ese marco las leyes propias con contenido empírico.

Cada modelo (potencial o actual) es una estructura que consta de uno o varios dominios de objetos más una serie de relaciones y/o funciones. En general, estas relaciones y funciones serán, según el estructuralismo, de dos tipos: *T*-teóricas o *T*-no-teóricas (siendo *T* la teoría caracterizada por dichos modelos). Es decir, se prescinde de la noción de observacionalidad (que se considera ajena a la estructura de las teorías científicas aunque no necesariamente irrelevante en otros contextos), y la dicotomía entre términos teóricos se considera no universal como en la concepción de los dos niveles, sino relativa a cada teoría dada: los términos *T*-no-teóricos vienen fijados por medios externos a esa teoría *T* y por consiguiente representan su base de contrastación, mientras que los

3. El compendio sistemático más completo hasta ahora es: Balzer/Moulines/Sned, 1987. Pueden encontrarse exposiciones más introductorias, en lengua castellana, en Moulines, 1982; Rivadulla, 1984 y Echeverría, 1989.

términos *T*-teóricos vienen fijados por las propias leyes de *T* y determinan la capacidad explicativa y predictiva de la teoría.

El criterio original propuesto por Sneed (cf. Sneed, 1971, c. II) se refería sólo a las funciones métricas y su formulación no era todo lo precisa que sería de desear. Rezaba así: «Una función [métrica] es *T*-teórica si todos los métodos de medición de la misma presuponen la aplicabilidad de las leyes de la teoría». Tanto la noción de «método de medición» como la de presuposición quedaban aquí envueltas en cierta vaguedad.

Balzer y Moulines propusieron más tarde una generalización y precisión modelo-teórica de la idea intuitiva original de Sneed (cf. Balzer, Moulines, 1980). El criterio de *T*-teoricidad se formula para cualquier tipo de conceptos empíricos, sean métricos o no. Se introduce primero formalmente la noción de método de determinación (de un concepto dado) como una clase de modelos potenciales de la teoría en cuestión que cumplen ciertas condiciones; luego se define como *T*-teórico cualquier término de *T,* todos cuyos métodos de determinación no sólo son modelos potenciales, sino además *actuales* de *T* (o sea, cumplen las leyes de *T*). Los ejemplos de aplicación del criterio que dan Balzer y Moulines muestran que la nueva formulación es intuitivamente adecuada y más precisa que la original. Sin embargo, tiene aún algunas limitaciones y sobre todo un componente pragmático ineludible. Posteriormente se han hecho otros intentos, en una línea parecida, de formalizar aún mejor el criterio de *T*-teoricidad (cf. Gähde, 1987; Forge, 1984; Balzer, 1985), pero su exposición requeriría de detalles técnicos que romperían el marco del presente artículo.

BIBLIOGRAFIA

Ayer, A. J. (comp.) (1959), *Logical Positivism,* Free Press, Glencoe, Ill, v.e. Schmill, U. *et al., El positivismo lógico,* FCE, México, 1965.

Balzer, W. (1985), «A New Definition of Theoreticity»: *Dialectica 39,* 127-145.

Balzer,W., Moulines, C.U., (1980), «On Theoreticity»: *Synthese 44,* 467-494.

Balzer,W., Moulines, C.U., Sneed, J.D. (1987), *An Architectonic for Science,* Reidel, Dordrecht.

Bar-Hillel, Y. (1970), «Neo-Realism vs. Neopositivism: A Neo-Pseudo Issue», en Bar-Hillel, Y., *Aspects of Language,* Magnes Press, Jerusalén.

Carnap, R. (1928), *Der logische Aufbau der Welt,* Felix Meiner, Hamburg, 2ª edic. (1961), v.e. Mues, L., *La construcción lógica del mundo,* UNAM, México, 1988.

Carnap, R. (1936-37), «Testability and Meaning»: *Philosophy of Science 3 y 4.*

Craig, W. (1956), «Replacement of Auxiliary Expressions»: *Philosophical Review LXV.*

Echeverría, J. (1989), *Introducción a la metodología de la ciencia,* Barcanova, Barcelona.

Forge, J. (1984), «Theoretical Functions in Physical Science»: *Erkenntnis 21,* 1-29.

Gähde, U. (1983), *T-Theoretizität und Holismus,* Peter Lang, Frankfurt a. M., Bern.

Hempel, C. G. (1952), «Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science», en Neurath, O., Carnap, R., Morris, Ch., *International Encyclopedia of Unified Science* (t. 2-7), University of Chicago Press, Chicago.

Hempel, C. G. (1971), «The Meaning of Theoretical Terms: A Critique of the Standard Empiricist Construal», en Suppes, P. (comp.), *Logic, Methodology and Philosophy of*

Science. IV. Proceedings of the 1971 International Congress, North-Holland, Amsterdam.
Mach, E. (1868), «Über die Definition der Masse». *Repertorium für Experimental-Physik, für physikalische Technik, für mathematische und astronomische Instrumentenkunde 4.*
Mach, E. (1883), *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen,* 6a edic. (1911), v.e. Ovejero, E., *Análisis de las sensaciones.* Daniel Jorro, Madrid, 1925.
Moulines, C.U. (1975), «La génesis del positivismo en su contexto científico»: *Dianoia,* 31-49.
Moulines, C. U. (1976), «Los fundamentos de la filosofía natural de Isaac Newton»: *Dianoia,* 27-43.
Moulines, C. U. (1982), *Exploraciones metacientíficas,* Alianza, Madrid.
Moulines, C. U. (1986), «The Ways of Holism», *Nous XX, 3,* 313-330.
Moulines, C. U. (1991), «Making Sense of Carnap's "Aufbau"»: *Erkenntnis 35,* 263-286.
Nola, R. (1987), «Some problems concerning the theory-ladenness of observation»: *Dialectica 41,* 273-292.
Putnam, H. (1962), «What Theories Are Not», en Nagel, E., Suppes, P., Tarski, A. (comps.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science,* Stanford.
Rivadulla, A. (1984), *Filosofía actual de la ciencia,* Alianza, Madrid.
Scheffler, I. (1967), *Science and Subjectivity,* Bobbs-Merrill, Indianapolis.
Sneed, J. D. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics,* Reidel, Dordrecht.
Stegmüller, W. (1970), *Theorie und Erfahrung,* Springer, Berlin, Heidelberg, v.e. Moulines, C.U., *Teoría y experiencia,* Ariel, Barcelona, 1979.
Stegmüller, W. (1973), *Theorienstrukturen und Theorien-Dynamik,* Springer, Berlin, Heidelberg, v.e. Moulines, C.U., *Estructura y dinámica de teorías,* Ariel, Barcelona, 1983.
Suppes, P. (1957), *Introduction to Logic,* Van Nostrand, New York.

RELACIONES INTERTEORICAS

Mario Casanueva

I. INTRODUCCION

Las teorías científicas no son náufragos en una isla desierta sino que ocurren en sociedad con otras. Por lo común la forma de uso de una teoría científica está parcialmente determinada por su relación con otras. Así, adicionalmente al estudio de las teorías científicas una filosofía de la ciencia que pretenda ser completa debe contemplar el estudio de las relaciones interteóricas (RIT).

Brevemente y a grandes saltos, en el presente siglo podemos señalar tres momentos en la historia del estudio de las RIT. El primero está representado por las consideraciones de la llamada «concepción heredada». Aunque aquí no nos referimos a las tesis de Popper, para los fines que nos interesan podemos señalar que éstas coinciden en buena medida con la visión que aquí se presenta. En particular, ambas comparten la idea de que existe una base empírica segura (cuya certeza puede variar de indubitable a no problemática según el autor), descrita en un lenguaje teóricamente neutral que permite la comparación entre teorías. También, a diferencia de los historicistas, comparten la idea de que sólo es epistemológicamente relevante el contexto de justificación y una visión más o menos continuista del desarrollo de la ciencia (compárese por ejemplo la visión del desarrollo de Popper, 1979, c. 10, con la que suministra Nagel, 1961, c. 11).

El segundo momento está fuertemente influenciado por la polémica en torno a la noción de inconmensurabilidad y cambio semántico. De entre los defensores de estas tesis se analiza especialmente la postura de Kunh (1962, 1969).

El tercer momento a considerar está basado en la tesis de la llamada «concepción estructural de teorías». Se propone una tipología de RIT, que si bien no pretende ser exhaustiva, sí es extensa; se ejemplifican algunos casos.

II. LAS RIT Y LA CONCEPCION HEREDADA

Durante este primer momento, los estudios sobre las RIT se realizaron bajo las ópticas del modelo acumulacionista de desarrollo científico y del ideal de la ciencia unificada del positivismo lógico. Este último concebía las teorías como una pirámide de enunciados constituida de tres partes: *a)* un determinado conjunto de enunciados, respecto a los objetos de estudio de la teoría en cuestión, conformaba una base de contrastación no problemática en cuanto a su significado; *b)* un conjunto de axiomas específicos para cada teoría proporcionaba la cúspide de los grandes principios teóricos, de la que se deducían otros enunciados y *c)* un conjunto de reglas de correspondencia que ligaba *a* con *b* y proporcionaba parte del significado de los términos que aparecen en *b* (la otra parte estaba dada por las relaciones lógicas entre los enunciados de *b*).

Veamos cómo era concebido el desarrollo de las teorías. Cuando se propone una teoría *T* sobre *a, T* sólo es aceptada si logra buen éxito en una serie de pruebas iniciales, por lo que podemos decir que *T* está confirmada en *a*. Pero la historia de la ciencia abunda en casos de teorías bien confirmadas que posteriormente fueron sustituidas. Este hecho era explicado por la «concepción heredada» aduciendo que el desarrollo de la ciencia se realizaba básicamente de dos maneras.

La primera consiste en una ampliación de *T* hacia nuevos territorios *a'* no contemplados en *a*, lo que requiere añadir, o bien nuevos axiomas *b'* sobre *b*, o bien nuevas reglas de correspondencia *c'* sobre *c*. Pero esto equivale a sustituir $T = a + b + c$ por una $T' = (a + a') + (b + b') + (c + c')$ altamente relacionada con ella pero distinta. Se suponía que en estos casos los términos de *T* se usan más o menos con el mismo significado en *T'*, es decir, *T* y *T'* emplean un vocabulario homogéneo (Nagel, 1961, 312-313). Esta forma de desarrollo por adición puede considerarse un tipo de reducción en la que *T* se reduce a *T'*. Un ejemplo muy citado de esto fue la extensión de la mecánica clásica de partículas a la mecánica del sólido rígido (recordemos que el tratamiento inicial de Euler está claramente construido sobre un esquema newtoniano). Se consideraba que tales casos constituían fases habituales del desarrollo normal de la ciencia y su análisis no presentaba muchas dificultades.

Otro es el caso de la segunda vía de crecimiento, que podría ser llamada reducción por inclusión. Aquí diferentes teorías $T_1, ..., T_n$ se reducen a una *T'* más amplia que incluye, entre otros, a los distintos a_i $1 \leq i \leq n$. A diferencia del primer caso existen términos de las diferentes T_i que no están incluidos en *T'*, con lo que la deducción lógica de T_i a partir de *T'* se torna imposible. Para resolver esta dificultad y con la intención de diferenciar los logros triviales de las realizaciones científicas valiosas se pro-

pusieron una serie de condiciones tanto formales como empíricas (Nagel, 1961, c. 11).

A) *Condiciones formales para la reducción de T_i a T'*

1A. Conectabilidad entre términos: para cada término que aparezca en T_i pero no en *T'*, debe existir un enunciado de conexión que asocie dicho término con términos que aparecen en *b'*. Esta conexión sólo se cumple si los significados de los términos respectivos son fijados sin ambigüedad por medio de reglas de uso claramente codificadas o procedimientos apropiados a cada teoría.

2A. Derivabilidad de leyes: los axiomas que enuncian en b_i las leyes de T_i, deben de ser una consecuencia deductiva de *T'*.

B) *Condiciones empíricas para la reducción de T_i a T'*

1B. Fecundidad sobre T_i: se pide que los enunciados *b'* de *T'* sugieran un desarrollo posterior de las T_i incluidas, ya en forma de un incremento sobre T_i, ya en forma de corrección.

2B. Comprobación independiente: Se pide que *T'* posea elementos *a'* diferentes de a_i que le suministren un apoyo empírico adicional.

Según el ejemplo de este tipo de reducción presentado por Nagel (1961, c. 11), Maxwell y Boltzman lograron un gran triunfo cuando dedujeron la ley sobre el comportamiento macroscópico de los gases ideales $pV = KT$, partiendo de los principios de la mecánica clásica de partículas y algunas premisas sobre la microestructura del gas. A saber:

1) Un gas se compone de un gran número de moléculas esféricas de idéntica masa y volumen, aunque este último es despreciable en comparación con la distancia media entre ellas.

2) Las moléculas mantienen un movimiento relativo entre ellas y sólo están sujetas a las fuerzas de colisión (tanto entre ellas como con las paredes del recipiente).

3) La energía total del sistema impone cotas a la distribución de velocidades, dentro de ello se considera que:

3.1) La probabilidad de que una molécula ocupe cierta región mientras posee determinada velocidad es la misma para todas las moléculas y es igual a la probabilidad de que una molécula ocupe cualquier otra región mientras posee otra velocidad.

3.2) La probabilidad de que una molécula ocupe determinada región mientras posee una cierta velocidad es independiente del comportamiento de las otras.

4) La energía cinética del conjunto de moléculas es directamente proporcional a la temperatura absoluta del gas: $E = 3/2kT$.

El que tal derivabilidad sea posible, nos permite afirmar que la termodinámica clásica, una teoría que originalmente se propuso para tratar el funcionamiento de máquinas térmicas, y que involucraba propiedades macroscópicas como la presión y temperatura de un gas, ha sido reducida a una teoría acerca de la mecánica estadística de partículas, cuando esta última había sido originalmente propuesta para tratar temas muy dispares.

En opinión de Nagel, este ejemplo cumplía todos los requisitos de reducción por inclusión enunciados arriba. La condición 1A se satisface puesto que $E = 3/2kT$ establece la equivalencia de significado entre «temperatura», término de T_i, y «energía cinética», término de T'. El cumplimiento de 2A se garantiza en la misma medida que la deducción anterior. 1B también se cumple, recordemos que en 1873 van der Waals propuso que la conexión entre termodinámica clásica y mecánica estadística sugiere una corrección de la ley de Boyle-Charles-Mariotte sobre el comportamiento de los gases ideales: (P + *a*/V *(exp2) (*V–*b)* = *kT*. Tal corrección incorpora dos nuevos parámetros: *a* es una medida de las fuerzas intermoleculares de atracción y *b* es un término que da cuenta del volumen finito de las moléculas del gas. Por último también 2B se cumple puesto que la hipótesis de la constitución molecular de la materia encuentra apoyo adicional, no proveniente de la termodinámica, en las relaciones cuantitativas manifestadas en las interacciones químicas y una serie de leyes de la física molar que no hacen referencia a las propiedades térmicas de los gases.

En este período, junto a estos dos tipos de RIT también fue considerado, aunque menos analizado, el caso de la equivalencia entre sistemas de enunciados (formulaciones axiomáticas alternativas). Tal es el caso de las mecánicas clásica y hamiltoniana. Sin embargo estos casos no fueron muy atendidos, eran considerados un caso particular de reducción en la que ésta funciona en ambos sentidos o una especie de identidad escondida.

En resumen, durante esta etapa se consideraba que la ciencia poseía una naturaleza acumulativa en la que las teorías científicas una vez aceptadas no son abandonadas, sino sustituidas por otras más amplias a las que se reducen, sin que medie entre ellas un cambio de significado. Como hemos dejado ver, este pensamiento acumulacionista estaba muy ligado a la «concepción heredada» y no es de extrañar que el rechazo a las tesis de acumulación y crecimiento por reducción ocupe un lugar preponderante entre los principales críticos de la misma como Hanson, Kuhn y Feyerabend.

III. LAS RIT Y LA POLEMICA INCONMENSURABILIDAD VS. REDUCCION

Para estos últimos, y de hecho para la gran mayoría de los autores contemporáneos, es claro que la actividad científica se realiza dentro de marcos conceptuales globales, que se desarrollan y mutan a lo largo de la historia de la ciencia. La lectura que v.g. Kuhn o Feyerabend hacen de la historia de la ciencia contiene numerosos casos en los que tales marcos son abandonados, lo que conlleva un cambio en los compromisos fundamentales de la práctica científica y en el significado de los términos que ésta

emplea. En tales condiciones, los modelos de desarrollo acumulacionistas deben abandonarse. La transición de uno a otro marco presenta dificultades pues para realizarla no existe ningún marco conceptual básico que sirva de fundamento o guía. No existe ningún lenguaje que nos permita realizar la reducción de un marco a otro o simple y sencillamente la comparación entre marcos. En los casos de teorías sucesivas en los que ocurra esto, es en donde se presenta el fenómeno de la inconmensurabilidad.

Como era de esperarse, las obras de los defensores de la tesis de la inconmensurabilidad también presentan críticas a los ejemplos de las pretendidas reducciones. V.g., el análisis de Feyerabend de la pretendida reducción de la ley de la caída libre de Galileo a la mecánica newtoniana muestra que, mientras la primera considera que la aceleración vertical de un cuerpo en caída libre es constante, la segunda considera que tal magnigud se incrementa en proporción inversa al cuadrado de la distancia. Así, la ley de caída libre sólo puede derivarse de la mecánica newtoniana si suponemos que la razón «distancia de caída/radio de la Tierra» es igual a cero, pero en tal caso no existe caída. Así, la ley de Galileo no se sigue de los principios de la mecánica newtoniana. Otros ejemplos paradigmáticos de pares de teorías inconmensurables serían: óptica geométrica–óptica ondulatoria; mecánica clásica–relatividad especial e incluso el ejemplo de Nagel termodinámica–mecánica estadística (Feyerabend, 1965, 271-271 considera que el concepto de temperatura presenta cambios semánticos).

Conviene añadir que Kuhn (1962, c. 2) y Feyerabend (1965), si bien aceptan que la reducción por inclusión ocurre y su análisis no presenta demasiados problemas, la limitan *al interior* de un determinado marco global.

Del hecho de que el cambio semántico implica imposibilidad de reducción lógica, los defensores de la inconmensurabilidad concluyeron la implausibilidad del concepto de reducción para explicar los casos interesantes de sustitución de teorías. Por su parte, postulantes de la conmensurabilidad como Putnam (1965) y Hutten (1956), sugirieron conceptos más laxos en términos de aproximaciones asintóticas entre teorías. El radical Feyerabend negó reiteradamente que esto fuera suficiente para dar cuenta de la evolución de teorías reales en su contexto histórico particular. Simple y sencillamente puesto que todos los términos descriptivos cambian de significado, no existe terreno posible de discusión crítica y la propaganda es la verdadera dueña del terreno. Más mesurada, la posición de Kuhn (1969) destaca ciertos territorios compartidos donde es posible que exista, no prueba, pero sí persuasión entre los distintos proponentes de dos paradigmas.

3.1. *Algunas precisiones sobre la inconmensurabilidad*

Pocas nociones en filosofía de la ciencia han sido tan controvertidas o vagas como la de inconmensurabilidad entre teorías. Gran parte de la confusión proviene de la forma en que la misma ha sido presentada por sus postulantes. Así, en Kuhn encontramos pasajes en los que esta noción se entiende a veces como incompatibilidad lógica (v.g. cuando afirma que la mecánica relativista *contradice* la clásica, Kuhn, 1962, 158); otras veces, como imposibilidad de comparación (v.g. cuando afirma que ambas teorías son inconmensurables porque sus conceptos básicos están interpretados de formas distintas con lo que no se puede afirmar que las teorías hablen de lo mismo). Sin embargo, como muestra el análisis de Pérez (1991, c. 5 y 7) una lectura atenta de Kuhn indica que inconmensurabilidad no es sinónimo ni de inconsistencia ni de imposibilidad de comparación. No lo es de inconsistencia lógica, porque eso implicaría que las teorías en cuestión sí son comparables; una predica lo que la otra niega (la inconsistencia lógica presupone identidad del significado). Tampoco lo es de incomparabilidad puesto que debería ser claro que el tipo de relación entre dos teorías inconmensurables, v.g., óptica geométrica-óptica ondulatoria, no es la misma que la que existe entre dos teorías verdaderamente incomparables como la economía keynesiana y la genética mendeliana. Cuando se predica la inconmensurabilidad entre dos teorías se pretende decir algo más que la incomparabilidad estricta.

Aunque, lamentablemente, los proponentes de la inconmensurabilidad jamás aclararon cuál era exactamente el tipo de relación en el que estaban pensando (lo que condujo en buena medida a la poca fecundidad de las discusiones en esta etapa), en una primera aproximación podemos caracterizarla por algunas de sus propiedades más conspicuas: *a*) la inconmensurabilidad se predica entre teorías sucesivas, entre las que, *b*) media un cambio semántico, debido al cual, *c*) sus conceptos básicos poseen diferente significado y no puede afirmarse que tengan consecuencias comparables, no obstante, *d*) puede afirmarse que si bien no hablan de lo mismo, sí pretenden hacerlo (Pérez, 1991, c. 5).

IV. LAS RIT Y LA CONCEPCION ESTRUCTURAL

Un desarrollo posterior en el estudio de las RIT hubo de esperar la entrada en escena de nuevas concepciones sobre la estructura y función de las teorías empíricas. En particular, la sustitución de la concepción enunciativista, que identificaba las teorías con sus formulaciones lingüísticas, por nuevas concepciones centradas en la noción de modelo, ha resultado especialmente fructífera. Dentro de esta línea de trabajo existen varias corrientes de pensamiento; en lo sucesivo únicamente nos referiremos a los de la llamada «concepción estructural de teorías» cuyos integrantes presentan un extenso análisis de las RIT en Balzer, Moulines, Sneed (1987).

Para esta escuela, las teorías se definen esencialmente por un conjunto de estructuras modelo-teóricas representadas como tuplos ordenados: $<C_1,..., C_n, R_1,..., Rm>$ que incluyen conjuntos (C) y relaciones definidas entre ellos (R). Tales estructuras se definen mediante la intro-

ducción de un predicado conjuntista de la forma $x \in$ M, donde x es una estructura y M una clase de modelos. El predicado conjuntista nos indica las condiciones (o axiomas de la teoría) que debe de satisfacer una estructura conceptual para que sea considerada perteneciente a la teoría en cuestión (i.e. un modelo en el sentido lógico del término). Dentro de una teoría se presentan distintas clases de modelos con diferente nivel de teoricidad.

Existen dos tipos de axiomas. Los axiomas propios enuncian las leyes fundamentales de las teorías, en tanto que los impropios determinan la estructura conceptual cuya sistematización permite la enunciación de tales leyes. Las estructuras conceptuales que satisfacen todos los axiomas de la teoría (incluidas las leyes empíricas fundamentales), constituyen el conjunto de modelos reales de la teoría (que en lo sucesivo llamaremos M); las que únicamente satisfacen los axiomas impropios conforman el conjunto de los modelos potenciales de la teoría (las llamaremos Mp).

Por otra parte, a semejanza de las escuelas más tradicionales, la concepción estructural también considera esencial la distinción de dos niveles conceptuales dentro de una teoría *T*: el dominio de las aplicaciones empíricas o marco de contrastación (que es, y debe ser, «independiente» o no presupuesto por *T*) y la superestructura teórica (específica de *T*) que sistematiza dicho campo. Para ello introduce la distinción entre términos *T*-teóricos (teóricos en *T*) y términos *T*-no-teóricos (no teóricos en *T*). Un término es *T*-teórico cuando su extensión no puede delimitarse sin presuponer la validez de las leyes de la teoría; correspondientemente, es *T*-no-teórico si la delimitación de su extensión no presupone la aplicación de las leyes de la teoría. Notemos que un término *T*-no-teórico no tiene por qué ser observable en el sentido absoluto presente en la distinción teórico-observacional de los empiristas lógicos) perfectamente puede ocurrir que dadas dos teorías *T* y *T'* el mismo término *t* sea *T*-no-teórico y *T'*-teórico. Esta distinción está basada en el «funcionamiento» de los conceptos y no en su «significado».

El ámbito del marco de contrastación de una teoría, i.e., el territorio en el cual tiene sentido preguntarse si la teoría se aplica o no, está definido como el conjunto de aquellas estructuras que satisfacen los axiomas de la teoría que *no* contienen términos *T*-teóricos. Tales modelos pueden considerarse el resultado de sustraer, de los Mp, los términos *T*-teóricos y los enunciados donde éstos ocurren; en lo sucesivo denominaremos «modelos potenciales parciales» (Mpp) a tales estructuras.

Así, esencialmente, el aparato conceptual de una teoría empírica (que llamaremos *H*) puede representarse como: $H = \{Mp, Mpp\}$ Como se mostrará más adelante, esta estratificación de niveles entre los distintos tipos de modelos de *H*, permite una mucho mayor clarificación en la conceptualización de criterios metafóricos como el de RIT. Con la intención de fijar ideas, veamos una versión harto simplificada de la reconstrucción estructural de la mecánica clásica de partículas (MCP) como ha sido presentada en Moulines (1982, 79).

Los modelos potenciales de MCP se definen como sigue:

Mp (MCP): x es un modelo potencial de la mecánica clásica de partículas ($x \in$ MP (MPC)) *syss* existen $P, T, s, m, f_1,..., f_n$ tales que:

1) $x = <P, T, s, m, f_1,..., f_n>$
2) P es un conjunto finito y no vacío
3) T es un intervalo cerrado de números reales
4) $s : \mathrm{PxT} \rightarrow \mathrm{R}^3$ y s es dos veces diferenciable en T
5) $m : P \rightarrow \mathrm{R}$ y para toda $p \in P : m(p)>0$
6) $f_i\ (1 \leq i \leq n) : \mathrm{PxT} \rightarrow \mathrm{R}^3$

Intuitivamente P representa un conjunto de partículas; T representa el intervalo temporal durante el cual se considera el sistema; s representa la función que determina la posición en el espacio de cada partícula en cada instante, la primera derivada corresponde a la velocidad y la segunda a la aceleración; m es una función que asocia a las partículas con su masa, la cual es siempre positiva y f_i representa las distintas funciones fuerza, éstas asocian un vector fuerza a cada partícula en cada instante. La unión de todas ellas se denomina F.

Para obtener los modelos reales de MCP debemos añadir la ley fundamental de esta teoría, a saber, el célebre «segundo principio» de Newton, según el cual «la fuerza resultante es igual al producto de la masa por la aceleración».

M (MCP): x es un modelo de la mecánica clásica de partículas ($x \in$ MP (MPC)) *syss* existen $P, T, s, m, f_1,..., f_m$ tales que:
1) $x = <P, T, s, m, f_1,..., f_n>$
2) $x \in$ MP (MCP)
3) Para todo $p \in P$ y para todo $t \in T$ se cumple:
$$m(p) \cdot \mathrm{D}^2_t s(p, t) = \sum_i f_i(p, t)$$

Por último, dado que los conceptos de masa y fuerza son MCP-teóricos, los modelos potenciales parciales se definen como:

MPp (MCP): x es un modelo potencial parcial de la mecánica clásica de partículas ($x \in$ MPp (MCP)) *syss* existe una y tal que $y = <P, T, s, m, f,..., f_n> \in$ MP (MCP) ε $x = <P, T, s,>$.

Los MPp (MCP) constituyen lo que habitualmente se conoce como una cinemática de partículas (galileana). Solamente en aquellas estructuras que puedan ser conceptualizadas de esta forma tiene sentido preguntarse si son o no modelos de MCP.

V. ESPECIALIZACION

La RIT más sencilla identificada por la concepción estructural intuitivamente corresponde a la reducción por adición como fue presentada anteriormente; siguiendo el lenguaje de estos autores la denominaremos especialización.

Especialización: Sea $H_1 = (Mp_1, M_1, Mpp_1)$ $H_2 = (Mp_2, M_2, Mpp_2)$, entonces diremos que H_2 es una especialización de H_1 *syss*:
1) $Mp_1 = Mp_2$
2) $Mpp_1 = Mpp_2$
3) $M_1 \subseteq M_2$

Las especializaciones deben considerarse como ampliaciones del núcleo de la teoría que varían con su desarrollo. Los resultados obtenidos con ellas se utilizan únicamente en cierto tipo de aplicaciones. Su introducción permite una forma habitual de crecimiento de las teorías, que no conlleva una modificación de las leyes fundamentales y, en su caso, pueden incluso abandonarse sin peligro para estas últimas. Obviamente, la especialización propuesta mediante la ley especial añadida restringe la extensión del predicado conjuntista fundamental (condición 3), pero no tiene por qué restringir la extensión de la superestructura dada por los axiomas impropios de la teoría (condiciones 1 y 2).

Para nuestro ejemplo de MCP, Moulines (1982, c. 2.4), presenta a grandes rasgos las cuatro principales líneas de especialización de la MCP: i) la introducción del principio de acción y reacción, ii) la introducción de fuerzas dependientes de la distancia (v.g. gravitación, electrodinámica y ley de Hooke), iii) la introducción de fuerzas dependientes de la velocidad (v.g., fricción) y iv) la introducción de fuerzas dependientes del tiempo. A continuación se presenta la versión simplificada de la primera y más sencilla de ellas, la *dinámica de acción-reacción generalizada (DARG).*

M (DARG): x es un modelo de la dinámica de acción-reacción generalizada ($x \in$ DARG) *syss*:
1) $X \in$ MCP
2) Para toda $t \in T, p \in P, f_i \in$ F existe una y sólo una $q \in$ P $\in f_j \in$ F, tales que: $f_i(p, t) \neq 0 \rightarrow f_i(p, t) = -f_j(q, t)$.

La satisfacción de M (DARG)-1, garantiza la de especialización-3; existen casos en dinámica electrostática de partículas en las que M (DARG)-3 no se cumple.

VI. LA NOCION DE VINCULO INTERTEORICO

Para caracterizar RIT diferentes a la especialización, debemos introducir el concepto estructural de vínculo interteórico. Intuitivamente un vínculo [λ] es una relación entre MP's de distintas teorías.

Vínculos: Sea $H_1 = <MP_1, M_1, MPp_1>$ y $H_n = <MP_n, M_n, MP_{pn}>$. Diremos que λ es un vínculo entre $H_1,\ldots, H_n$ *syss:*
$\varnothing \neq \lambda \subseteq MP_1\, x\ldots\, xMP_n$ (para los vínculos no superfluos será $\lambda \subset Mp_1\, x\ldots\, xMP_n$).

Una tesis propuesta por la concepción estructural es que existen dos principales tipos de vínculos que, individualmente o juntos, nos permiten caracterizar distintos tipos de RIT. Recuperando la intuición de la concepción heredada, pero con una nueva formulación que escapa a los problemas de ésta, hablaremos de vínculos entre *leyes* (o implicativos) y vínculos entre *conceptos* (o determinantes). Los primeros son de naturaleza más global que los segundos (hecho patente si consideramos que, a diferencia de éstos, su caracterización general no contiene ninguna referencia a los conceptos particulares de las teorías en cuestión, aunque, por supuesto, éstos sí aparecen en la caracterización de los vínculos sustantivos, Moulines 1991). Con el fin de simplificar nuestra discusión en lo sucesivo únicamente consideraremos vínculos diádicos, es decir el dominio de aplicación de λ estará restringido a MP_1 x MP_2.

Vínculo implicativo: Sea $H_1 = <MP_1, M_1, MPp_1>$ y $H_2 = <MP_2, M_2, MPp_2>$. Diremos que η es un vínculo implicativo entre H_1 y H_2 ($H_1\ \eta\ H_2$) *syss:*
1) $H_1\ \eta\ H_2\ \varepsilon\ \eta \neq \varnothing$
2) Para todo $x_1 \in MP_1$, $x_2 \in MP_2$ si $x_1\ \eta\ x_2$ entonces $x_2 \in M_2 \rightarrow x_1 \in M_1$.

La primera condición requiere que η no sea vacía, es decir debe ser una relación entre los modelos reales de H_1 y H_2. La segunda condición establece nuestra intuición acerca de que la teoría «fuerte» implica en algún sentido la «débil». Si una estructura es modelo de la teoría fuerte, entonces la estructura que se le asocia mediante el vínculo η debe ser modelo de la teoría débil. Esta implicación estructural no requiere ni la existencia de un lenguaje común entre H_1 y H_2, ni la invariancia del significado de los conceptos, ni una derivación lógica entre sus respectivas leyes. Simple y sencillamente η establece un vínculo entre los modelos reales de ambas teorías sin importarnos en qué términos se describan dichos modelos. Escribimos $H_2\ \eta\ H_1$ para indicar la existencia del vínculo implicativo entre H_1 y H_2.

El otro tipo de vínculo, el determinante, como ya mencionamos, establece relaciones entre conceptos. (Para simplificar nuestra simbología, escribiremos $t_a \hat{\in} x \in M$ *syss* t_a es un término primitivo de M.) Su definición es como sigue:

Vínculo determinante: Sea $H_1 = <MP_1, M_1, MPp_1>$ y $H_2 = <MP_2, M_2, MPp_2>$. Diremos que υ es un vínculo determinante entre H_1 y H_2 *syss:*

1) $H_1\ \upsilon\ H_2\ \varepsilon\ \upsilon \neq \varnothing$.
2) Para todo $x_1^1, x_1^2 \in MP_1$, x_2 MP y para todo $t_1, t_2 \in$ *ta:* si $t_1 \hat{\in} x_1^1\ \varepsilon\ t_2 \hat{\in} x_1^2\ \varepsilon\ (x_1^1, x) \in \upsilon\ \varepsilon\ (x_1^2, x_2)$, $\in$ entonces $t_1 = t_2$.

Al igual que el vínculo anterior, la condición esencial es la segunda, la misma que indica que los modelos reales de H_2 suministran una determinación unívoca del término t_a en H_1, en el sentido de que, si dos modelos reales de H_1 están vinculados con un mismo modelo de H_2, entonces los valores de t_a en dichos modelos coinciden. En el resto de los parámetros involucrados, estos modelos pueden tener valores muy distintos, pero no en t_a. En lo sucesivo escribiremos $H_2\ \upsilon\ (t_a)\ H_1$ para indicar que t_a es el término particular de H_1 determinado mediante el vínculo υ por H_2. Obviamente, en los casos de verdadera determinación no existirá un vínculo inverso $\upsilon^{-1}(t)$, tal que $H_1\ \upsilon^{-1}(t_a)\ H_2$.

Los vínculos determinantes son una clase de vínculos básicos comunes en todas las RIT, cuestión que está de acuerdo con nuestra intuición de que dos teorías están vinculadas si al menos se ligan mediante un concepto. Así, toda RIT incluirá al menos un vínculo determinante.

Dicho sea de paso, la noción de vínculo determinante provee un criterio adicional de teoricidad: un término es *T*-no-teórico si existe otra teoría que determina la aplicación de ese término.

t es un término T_1-no-teórico *syss* $\exists\ T_2, \upsilon$ tales que:

$$H_2\ \upsilon\ (t_a)\ H_1.$$

VII. REDUCCION Y EQUIVALENCIA

Una vez introducida la tipología de los vínculos interteóricos, estamos en condiciones de caracterizar las más importantes RIT. Para estas dos primeras nos bastará con la noción de vínculo implicativo.

Reducción: H_1 se reduce a H_2 (H_1 RED H_2) *syss:*
1) $H_2\ \eta\ H_1$
2) Para todo $x_1 \in M_1\ \varepsilon\ x_2 \in M_2$: ($H_2\ \eta\ H_1$)

Reducción 1 establece la existencia de un vínculo implicativo y reducción 2 nos indica que todos los modelos reales de H_1 quedan cubiertos por H_2. Como era de esperarse la caracterización de la equivalencia entre teorías es presentada como una reducción en los dos sentidos.

Equivalencia: H_1 es equivalente a H_2 (H_1 EQ H_2) *syss:*
1) H_1 RED H_2 y
2) H_2 RED H_1

Ejemplifiquemos un caso sencillo de reducción teórica: la reducción de la mecánica clásica de colisiones (MCC) a la mecánica clásica de partículas. Para ello permítasenos presentar el predicado conjuntista que define MCC.

Los modelos potenciales de MCC se definen como sigue:

MP (MCC): x es un modelo potencial de la mecánica clásica de colisiones ($x \in$ MP (MCC)) *syss* existen P, T, v, m tales que:
1) $x = \langle P, T. v, m \rangle$
2) P es un conjunto finito y no vacío
3) T contiene únicamente dos elementos ($T = \{t_1, t_2\}$)
4) $v : PXT \rightarrow R^3$
5) $m : p \rightarrow R$ ε para toda $p \in P : m(p) > 0$

Intuitivamente P representa un conjunto de partículas; T una noción de temporalidad que contiene los momentos antes y después; v es una función que nos indica la velocidad de cada partícula antes y después del choque y m es una función que asocia a las partículas con su masa, la cual es siempre positiva.

Para obtener los modelos reales de MCC debemos añadir la ley fundamental de esta teoría, a saber, la ley de Conservación del Momento, la cual establece que la suma total de los productos de la masa por la velocidad de cada partícula posee el mismo valor antes y después del choque.

M (MCC): x es un modelo de la mecánica clásica de colisiones $x \in$ M (MCC) *syss* existen P, T, v, m tales que:
1) $x = \langle P, T, v, m \rangle$
2) $x \in$ MP (MCC)
3) $\sum_{p \in P} m(p) \cdot v(p,t_1) = \sum_{p \in P} m(p) \cdot v(p,t_2)$

Por último, dado que únicamente el concepto de masa es MCC-teórico, los modelos potenciales parciales se definen como:

MPp (MCC): x es un modelo potencial parcial de la mecánica clásica de colisiones ($x \in$ MPp (CCM)) *syss* existe $y = \langle P, T, v, m \rangle \in$ MP (MCC) ε $x = \langle P, T, v \rangle$.

Ahora, necesitamos definir un vínculo reductivo (RED $\subseteq$ Mp (MCP)) x MP (MCC)) que nos permita *traducir* los conceptos de MCC en los de MCP y (a partir de ello y determinadas restricciones establecidas en MCP) derivar una formulación de la Ley del Choque. Tal vínculo se define como sigue:

Sean $x_1 \in$ MCP y $x_2 \in$ MCC, $(x_1, x_2) \in$ RED *syss:*
1) $x_1 = \langle P, T, s, m, f_1, \ldots, f_n \rangle$
2) $x_2 = \langle P', T', v', m' \rangle$
3) $P = P'$, $m = m'$, ε $T' =$ (instante 1, instante 2)
4) Para toda $p \in P$ & $t \in T$: $v(p, t) = D^1_t s(p, t)$

Este vínculo nos permite obtener, para todo modelo en MCP el correspondiente de la MCC. Como señalamos antes, los vínculos suministran *reglas de traducción* entre las diferentes superestructuras teóricas involucradas. En este caso, lo que tales *reglas de traducción* permiten es transformar una concepción diferencial del espacio y el tiempo en una no diferencial. Sin embargo, si únicamente contáramos con esto no podríamos derivar la ley del choque a partir de MCP, para ello necesitamos de una especificación adicional: el principio de acción-reacción. Esto es un caso frecuente entre las reducciones teóricas: habitualmente la teoría reducida se obtiene a partir de una especialización de la reductora, cuestión que habitualmente es pasada por alto en la literatura sobre el tema. El lector interesado podrá ver los detalles de esta derivación en Balzer, Moulines, Sneed (1987, c. 6.3).

Un punto interesante a considerar en este momento es el tipo de relación existente entre ambos vínculos. Si consideramos la definición general de ambos, está claro que se trata de dos conceptos independientes. No podemos derivar la noción de vínculo determinante a partir de la de vínculo implicativo ya que este último no hace referencia a términos particulares. Conversamente tampoco podemos derivar la noción de vínculo implicativo a partir de la de vínculo determinante ya que en este último no existe referencia a las leyes particulares de las teorías en cuestión. Sin embargo, en el caso presentado, el vínculo implicativo establece la coincidencia entre los valores de masa y entre el valor de la velocidad en MCC con el valor de la primera derivada de la posición con respecto al tiempo en MCP. En otras palabras:

$$\text{MCP } \eta \text{ MCC implica (MCP } \upsilon \ (m) \text{ MCC } \varepsilon \text{ MCP } \upsilon \ (v) \text{ MCC).}$$

Por otra parte, la transferencia de una función determinada de una teoría a otra, sólo puede aceptarse si podemos asumir que las leyes fundamentales de la primera teoría se satisfacen (al menos aproximadamente). En nuestro ejemplo esto significa que:

$$\text{MCP } \upsilon \ (m) \text{ MCC implica NCP } \eta \text{ MCC.}$$

Esta relación entre ambos vínculos no es particular de este ejemplo, sino más bien el comportamiento general. El análisis de los vínculos implicativos constituye una perspectiva *macro,* en tanto que el de los determinantes una *micro.*

VIII. TEORIZACION

Otro caso interesante de RIT ocurre cuando una teoría se *monta* sobre otra. Tal es el caso de MCP respecto a la cinemática de partículas. Definimos esta relación como sigue:

Teorización: H_2 es una teorización sobre H_1 (H_2 TEO H_1) *syss:*

1) Existen t, υ: $H_1\ \upsilon\ (t)\ H_2$
2) Existe $s\ \hat{\in}\ MP_2$ y no existe υ tales que:
$H_1\ \upsilon\ (s)\ H_2$

En lenguaje intuitivo, H_2 TEO H_1 cuando existe al menos un término en H_2 determinado por H_1 y existe al menos un término en H_2 no determinado por H_1. Con la intención de matizar este concepto, podemos decir que H_2 es una teorización fuerte sobre H_1 cuando *todos* los términos de HPp de H_2 están determinados por H_1, y es una teorización débil si únicamente algunos de ellos son determinados por H_1.

IX. APROXIMACION

Como señalamos antes, ciertos casos de sustitución teórica en la historia de la ciencia como las mancuernas: sistema planetario kepleriano-mecánica newtoniana y MCP-mecánica relativista, suelen presentarse como ejemplos en los que el primer elemento de la mancuerna constituye una aproximación del segundo. Pese a todas las objeciones de Feyerabend, parece claro que los científicos se refieren a algo cuando hablan de este modo y es deseable contar con un criterio preciso para esta RIT. Esta relación ha sido extensamente tratada por Balzer, Moulines, Sneed (1987, c. 6.3), pero su caracterización formal emplea tecnicismos algo complicados. Nuestra presentación se limitará a una versión muy intuitiva de la misma.

Caracterizar esta RIT requiere introducir una serie de conjuntos imprecisores utilizando el concepto topológico de estructura uniforme. La formación de una mancha por difuminación de un punto constituye una representación intuitiva de la idea básica (un punto indica una posición precisa en tanto que una mancha no). Una mancha es un conjunto de puntos que mantienen entre sí la relación de pertenencia a la mancha. Así, también podríamos concebir la mancha como un conjunto de puntos análogos que mantienen entre sí la relación de semejanza dada por la mancha. En la caracterización de aproximación débil entre dos modelos de sendas teorías, establecemos la comparación entre ellos tomando *un* determinado conjunto borroso aceptado con anterioridad y decimos que la aproximación es válida dentro de *ese* conjunto particular. La noción de aproximación interteórica fuerte requiere que la aproximación se dé dentro de cualquier conjunto borroso admisible. La RIT entre MCP y el sistema kepleriano cae dentro de este último caso (Moulines, 1982, 211)).

X. INCONMENSURABILIDAD

Como se dijo anteriormente, una de las notas más conspicuas del concepto de inconmensurabilidad es el que dos teorías inconmensurables

pretenden hablar de lo mismo. La identificación de un campo de aplicaciones en común requiere la existencia de un lenguaje también común, por reducido que sea. Así, el reto filosófico en la caracterización de esta RIT consiste en especificar cuál puede ser este territorio en el que teorías que utilizan sus conceptos de distinta manera puedan hablar de lo mismo. Negar la existencia de un lenguaje absolutamente neutral no conlleva negar la existencia de lenguajes relativamente neutrales. Nuestra distinción entre los distintos niveles de teoricidad dentro de una teoría nos permite afirmar, a diferencia de lo que piensen Kuhn o Feyerabend, que los cambios en la aplicación de ciertos conceptos (*T*-teóricos) no necesariamente produce cambios en la aplicación de todos los conceptos (v.g., los *T*-no-teóricos, cuyo uso no depende de *T*).

Inconmensurabilidad débil

Un primer caso de inconmensurabilidad al que, siguiendo a Stegmüller (1979, c. 11), podríamos llamar inconmensurabilidad débil o teórica se presenta cuando ambas teorías coinciden en la manera de aplicar *todos* sus términos *T*-no-teóricos i.e. $Mpp_1 = Mpp_2$. Así, ambas teorías compartirían un lenguaje relativamente neutral (que no las presupone) pero no tendrían por qué utilizar sus términos *T*-teóricos con el mismo significado aunque utilicen la misma denominación. El caso Kepler-Newton suministra un ejemplo de Mpp compartidos (Moulines, 1982 c. 2.9). Otro especialmente peculiar está dado por la pareja teoría de campo y teoría de acción a distancia tal como fueron comparadas por Maxwell en su *Treatise on Electricity and Magnetism,* en el cual no sólo la conceptualización del dominio de aplicación (Mpp) es la misma, sino que incluso son empíricamente equivalentes (MacKinnon, 1989).

Inconmensurabilidad fuerte

Otro caso de inconmensurabilidad se presenta cuando entre ambas teorías no existe coincidencia ni siquiera en los términos *T*-no-teóricos, aunque los nombres de éstos aparezcan en ambas teorías, caso que Stegmüller (1979, c. 11) denomina inconmensurabilidad empírica. Para la presentación de ésta nos hemos basado en las ideas sugeridas por Pérez (1991 c. 7.2). El problema fundamental para la elucidación de esta RIT consiste en explicar cómo es posible que la conceptualización del dominio de la teoría sucesora sea semejante al de la teoría anterior a pesar de tener distintos conceptos *T*-no-teóricos. (A pesar de que se denominen igual no se trata de los mismos conceptos puesto que perfectamente puede ocurrir que para un término primitivo T_1-no-teórico y T_2-no-teórico existan vínculos determinantes υ_1 y υ_2 tales que $T_3\ \upsilon_1(t)\ T_1$ y $T_4\ \upsilon_2\ (t)\ T_2$ con $T_3 \neq T_4$.)

Pérez (1991, c. 7.2) responde a esta última cuestión de la siguiente manera: los términos empleados por ambas teorías, a pesar de no coincidir *totalmente,* pueden conservar un núcleo básico de significado. Considérese, por ejemplo, el cambio que en los usos «periféricos» de los conceptos de rojo y azul introducen nuestras teorías sobre el alejamiento galáctico. El color de una galaxia no es más una propiedad de ésta sino un efecto de su movimiento relativo (azul si se acerca, rojo si se aleja). Sin embargo, es difícil admitir que esto introduce cambios en el significado nuclear de nuestros conceptos de azul y rojo. Si suponemos la existencia de núcleos de significado conceptual que permanecen invariantes con relación al par de teorías considerado, podríamos explicar por qué al menos una cierta parte del terreno de discusión entre ambas teorías sea estructurado por éstas en las mismas clases de semejanza.

Así, en la *inconmensurabilidad fuerte,* el lenguaje compartido que posibilita la persuasión, sin ser el ordinario, tampoco es específico de alguna de las teorías en pugna, que Pérez denomina «la jerga de los científicos en un periodo histórico determinado». Diremos que T_1 y T_2 son teorías inconmensurables en el sentido fuerte si únicamente comparten esta jerga lingüística.

XI. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Hemos diferenciado tres momentos en la conceptualización filosófica de las RIT, cada uno de ellos influenciado por diferentes inquietudes. El primero, dominado por el deseo de mostrar la posibilidad de una ciencia unificada y la naturaleza acumulacionista de la misma; el segundo centrado en la polémica acerca de las formas de desarrollo científico y en el problema del cambio semántico y el tercero, el más fecundo de ellos, centrado en análisis metateóricos estructurales. En este último hemos presentado dos tipos de vínculos (implicativos y determinantes) que constituyen dos tipos de enfoques (macroanalítico y microanalítico) y prometen dar cuenta de la mayoría de las RIT más relevantes. La caracterización de estos vínculos pretende eludir los problemas del cambio semántico, pero no es claro que éste no reaparezca a otro nivel (no en la caracterización de los vínculos sino en su justificación). Hemos visto también cómo la elucidación del concepto de inconmensurabilidad fuerte requiere caracterizar adecuadamente un nivel lingüístico intermedio entre el lenguaje específico de las teorías y el lenguaje ordinario, cuestión altamente problemática y habitualmente desatendida por los filósofos tradicionales.

En el presente, si es amplio el trecho recorrido en el estudio de las RIT, también es amplio el que falta por recorrer; entre otros, aún no contamos con un concepto preciso de disciplina científica como una unidad ontológica que no se limite a la simple adición de teorías particulares, y tampoco el estudio de las RIT tiene por qué limitarse, como hasta ahora, a la parte conceptual sustantiva de las teorías. El estudio de las RIT constituye, hoy más que nunca, un terreno fértil para el trabajo filosófico.

BIBLIOGRAFIA

Balzer, W., Moulines, C.U., Sneed, J.D. (1987), *An Archetitectonic for Science,* Reidel, Dordrecht.

Feyerabend, P. (1965), «Comments and Criticism on the "Meaning" of Scientific Termas»: *J. Phil. LVII,* 267-271.

Hutten, E. (1956), *The Languaje of Modern Phisics,* McMillan, New York.

Kuhn, T. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions,* 2ª ed. aumentada, The University of Chicago Press, Chicago.

Kuhn, T. (1969), *Postscript-1969,* en: Kuhn (1962), 174-210.

MacKinnon, E. (1989), *Empirically equivalent but mutually incompatible theories: a case study.* Trabajo presentado en la reunión de la APA, Oakland, California.

Moulines, C.U. (1982), *Exploraciones Metacientíficas,* Alianza, Madrid.

Moulines, C.V. (1992), «Towards a Typology of Intertheoretical Relations», en *The Space of Mathematics* (comp. por J. Echeverría, A. Ibarra, Th. Mormann), De Gruyter, Berlin.

Nagel, E. (1961), «The Reduction of Theories», en *The Structure of Science,* Harcourt, Brace & World Inc., New York.

Pérez, A. (1991), *El modelo de desarrollo científico,* Tesis doctoral UNAM, México.

Popper, K. (1979), «La verdad, la racionalidad y el desarrollo del conocimiento científico», en *El desarrollo del conocimiento científico,* 2ª ed., Paidós, Buenos Aires.

Putnam, H. (1965), «How Not Talk About Meaning», en *Boston Studies in Philosophy of Science 2,* (Cohen, R. & Wartofsky, M. comps.) Humanities Press, New York.

Stegmüller, W. (1979), *The Structuralist View of Theories,* Springer, Berlin-New York.

MODELOS DE CAMBIO CIENTIFICO

Ana Rosa Pérez Ransanz

I. INTRODUCCION

Existen numerosas razones para intentar comprender la dinámica de la ciencia. Algunas pueden ser de tipo práctico, como el interés en encauzar el desarrollo de ciertas áreas de investigación, y otras de tipo teórico, como elucidar la naturaleza y el alcance del conocimiento humano. Hasta la fecha, no contamos con una concepción de cómo funciona y evoluciona la ciencia que haya logrado una aceptación general, o por lo menos mayoritaria. Lo que hay es una variedad de teorías atractivas, que a la vez que proponen hipótesis iluminadoras de ciertos aspectos de la empresa científica, son ampliamente discutidas y ninguna logra un acuerdo significativo.

En los años sesenta se desarrollaron varias teorías de la ciencia como alternativas a la concepción hasta entonces dominante, el positivismo o empirismo lógico. Tenemos, por ejemplo, las propuestas de N. R. Hanson, Paul Feyerabend, Stephen Toulmin y, sobre todo, de Thomas S. Kuhn, quien resulta la figura dominante. Estas contribuciones, a pesar de las diferencias que guardan entre sí, coinciden en su oposición a las tesis centrales del empirismo lógico (como por ejemplo, la existencia de una base empírica teóricamente neutral, la importancia exclusiva del contexto de justificación, o el carácter acumulativo del desarrollo científico), oposición que se basa en la idea de que estas tesis generan una imagen de la ciencia que no corresponde a la práctica científica real o efectiva, ni a la manera como ésta se ha desarrollado históricamente. Para los empiristas lógicos, el único aspecto relevante del desarrollo del conocimiento era el de la incorporación de viejas teorías en teorías más comprehensivas, por medio de la subsunción lógica o reducción interteórica. En los setenta aparecen las propuestas de una nueva generación de teóricos: Imre Lakatos, Larry Laudan, Joseph Sneed, Wolfgang Stegmüller, Dudley Shapere y Mary Hesse, entre los principales, quienes elaboran modelos para el desarrollo científico tomando como punto principal de referencia el modelo kuhniano (a la vez que adoptan algunas de sus tesis, critican y modifican otras).

A continuación enumeramos una serie de tesis de carácter general, cada una de las cuales reúne un acuerdo significativo, aunque sólo parcial, entre los autores postempiristas mencionados. Como se verá más adelante, los distintos autores otorgan a estas tesis pesos específicos diferentes, e incluso llegan a ignorar o rechazar algunas de ellas. De cualquier manera, aunque en sentido estricto no constituyan un común denominador de todos los modelos de cambio científico propuestos hasta ahora, estas tesis reflejan los principales rasgos de la imagen postempirista de la ciencia, y pueden ser una guía útil en el examen de los distintos modelos.

1) *La historia de la ciencia es la principal fuente de información para construir y poner a prueba los modelos sobre la ciencia.* En particular, los modelos que intentan dar cuenta de la dinámica científica deben estar respaldados por el estudio de la práctica efectiva y estar sujetos a contrastación empírica (Kuhn y Feyerabend son los principales responsables de este giro histórico y empírico en la filosofía de la ciencia). De aquí la importancia que frente a los análisis lógicos adquieren los estudios históricos como herramienta para la comprensión del conocimiento científico.

2) *No hay una única manera de organizar conceptualmente la experiencia.* Si bien la experiencia es un ingrediente fundamental en la adquisición de conocimiento, la ciencia no sólo es experiencia sino también, y sobre todo, capacidad de ver los mismos hechos de distintas maneras. Todos los «hechos» de la ciencia están cargados de teoría.

3) *Las teorías científicas se construyen y se evalúan, siempre, dentro de marcos conceptuales más amplios.* Estos marcos generales están formados por una serie de supuestos básicos (presupuestos) que establecen, entre otras cosas, los intereses por los que se construyen las teorías y lo que se espera de ellas (qué problemas deben resolver y a qué campo de fenómenos se deben aplicar), también establecen sus compromisos ontológicos (qué entidades y procesos se postulan como existentes) y sus compromisos metodológicos (a qué criterios se deben ajustar para su evaluación). Estos marcos conceptuales adquieren características específicas y nombres diferentes según el autor (paradigmas, programas de investigación, teorías globales, etc.), pero en general se consideran como las unidades básicas del análisis de la ciencia.

4) *Los marcos conceptuales mismos cambian.* Ciertamente se trata de estructuras que tienen una vida media más larga que sus teorías asociadas, pero de ninguna manera son entidades fijas o ahistóricas. De aquí la preocupación —que se ha vuelto central para muchos autores— por proponer modelos que den cuenta de los cambios más profundos y a largo plazo en el nivel de los presupuestos.

5) *La ciencia no es una empresa totalmente autónoma.* Dado que no hay procedimientos algorítmicos para la evaluación y comparación de teorías (no hay una medida universal de su éxito), el cambio teórico está subdeterminado por las razones que, en cada contexto, existen a su favor; esta situación da lugar a que factores de tipo «externo» (ideológicos, sociales, psicológicos, etc.) jueguen un papel en el desarrollo científico.

6) *El desarrollo de la ciencia no es lineal ni acumulativo.* Como la regla es más bien la competencia y el conflicto entre teorías rivales, casi siempre la aceptación de una teoría implica el rechazo de otra, y esto puede traer consigo pérdidas explicativas. Incluso se considera que la coexistencia de enfoques diversos es esencial para el crecimiento y la mejora del conocimiento científico.

7) *La ciencia es una empresa cuya racionalidad es imposible determinar a priori.* Sólo la investigación empírica de sus mecanismos y resultados a través del tiempo nos puede revelar en qué consiste la racionalidad científica. Por tanto, los estándares o principios normativos deben extraerse del registro histórico de la ciencia exitosa.

8) *Los modelos del desarrollo científico no tienen una base neutral de contrastación.* Como la base para poner a prueba estos modelos filosóficos es la historia de la ciencia, y como no hay una historia de la ciencia que sea metodológicamente neutral (toda historia supone ciertas ideas sobre lo que es la ciencia), se plantea como apremiante el problema de establecer las relaciones e interacciones entre historia de la ciencia y filosofía (metodología) de la ciencia.

A continuación expondremos con cierto cuidado tres de los modelos más citados en la literatura sobre desarrollo y cambio científicos: los modelos de Kuhn, Lakatos y Laudan. Señalaremos después algunos de los aspectos más originales de las propuestas de Feyerabend, Shapere y Stegmüller. Y concluiremos destacando los principales puntos de acuerdo y desacuerdo entre los modelos mencionados.

II. EL MODELO DE KUHN

El libro de Thomas Kuhn *La estructura de las revoluciones científicas* (*ERC*), publicado en 1962, marca el punto de partida tanto de una nueva imagen de la ciencia como de una nueva forma de hacer filosofía de la ciencia. El indicador más claro de la trascendencia de esta obra es el hecho de que la mayoría de los filósofos de la ciencia más destacados en la actualidad —muchos de los cuales han sido críticos agudos de Kuhn— hayan incorporado en sus propias teorías elementos característicos de la concepción kuhniana. Esto se observa en el caso de Lakatos, Feyerabend, Stegmüller, Laudan y Shapere, por citar sólo algunos de los más importantes. La mayoría de las tesis arriba enumeradas se articulan por primera vez en el modelo propuesto por Kuhn, conformando una concepción global de la ciencia alternativa a la tradicional. La obra de Kuhn constituye un giro crucial, una «revolución», en el desarrollo de la filosofía de la ciencia, colocando en el centro de las discusiones el problema del cambio científico.

El modelo kuhniano establece una serie de etapas sucesivas en el desarrollo de una disciplina científica. Comienza con una etapa llamada «pre-paradigmática», en la cual coexisten diversas «escuelas» que compiten entre sí por el dominio en un cierto campo de investigación. Entre estas escuelas existe muy poco (o ningún) acuerdo con respecto a la caracterización de los objetos de estudio, los problemas que hay que resolver y su orden de importancia, los métodos y procedimientos más adecuados, etc. Lo característico en esta etapa es que la investigación que realizan los grupos en competencia no logra producir un cuerpo acumulativo de resultados. Este período de las escuelas termina cuando el campo de investigación se unifica bajo la dirección de un mismo conjunto de supuestos básicos, que Kuhn llama «paradigma». Los investigadores llegan a estar de acuerdo en que uno de los enfoques competidores es tan prometedor que abandonan los demás, y aceptan este enfoque como base de su propia investigación. Esta transición, que ocurre sólo una vez en cada disciplina científica y es por tanto irreversible, crea el primer consenso alrededor de un paradigma, y marca el paso hacia la ciencia madura.

Conviene aclarar desde ahora que Kuhn utiliza el término *paradigma* básicamente en dos sentidos: 1) como logro o realización concreta y 2) como conjunto de compromisos compartidos. El primer sentido se refiere a las soluciones exitosas y sorprendentes de ciertos problemas, las cuales son reconocidas por toda la comunidad pertinente. Estas aplicaciones o casos concretos de solución funcionan como ejemplos a seguir en las investigaciones subsecuentes. El segundo sentido se refiere al conjunto de supuestos o compromisos básicos que comparte la comunidad encargada de desarrollar una disciplina científica. Este conjunto incluye compromisos con ciertos supuestos ontológicos, generalizaciones simbólicas (leyes fundamentales), procedimientos y técnicas de investigación, y criterios de evaluación. La relación entre los dos sentidos de *paradigma* se puede ver como sigue: paradigma como conjunto de compromisos compartidos (segundo sentido) es aquello que presuponen quienes modelan su trabajo sobre ciertos casos paradigmáticos (primer sentido).

El consenso acerca de un paradigma (segundo sentido) marca el inicio de una etapa de «ciencia normal». La ciencia normal consiste, básicamente, en una actividad de resolución de problemas (enigmas). A través de esta actividad el paradigma vigente se va haciendo cada vez más preciso y mejor articulado. La etapa de ciencia normal es conservadora; el objetivo no es la búsqueda de novedades, ni en el nivel de los hechos ni en el de la teoría. Se trata de estirar al máximo, tanto en alcance como en precisión, el potencial explicativo del paradigma dominante. Como el conjunto de supuestos básicos no se considera problemático ni sujeto a

revisión (los fracasos en la resolución de problemas se toman, por lo general, como falta de habilidad de los científicos, no como contraejemplos), se trabaja todo el tiempo bajo las mismas reglas del juego, y esto permite que los resultados se produzcan todos en la misma dirección y sean claramente acumulables. De aquí que el sentido y la medida del progreso, dentro de cada período de ciencia normal, estén bien definidos.

El papel que juegan los paradigmas en tanto logros concretos o ejemplares (primer sentido) es central en el desarrollo de la investigación normal. Los científicos resuelven los problemas reconociendo su semejanza con los casos ejemplares, identifican nuevos datos como significativos, y las nuevas generaciones aprenden el significado de los conceptos básicos resolviendo los problemas de las soluciones modelo. Estos casos ejemplares son la conexión entre la experiencia y la teoría; muestran cómo ver y manipular la naturaleza desde una cierta perspectiva teórica. El contenido cognitivo de una disciplina no se encuentra empotrado en una serie de enunciados y reglas formulados explícitamente, sino en sus casos ejemplares paradigmáticos. De esta manera, los paradigmas, en los dos sentidos del término, son la guía imprescindible de la investigación en los periodos de ciencia normal.

Contrariamente a sus propósitos, la investigación normal —con su creciente especialización y extensión del campo de aplicaciones— conduce al planteamiento de problemas («anomalías») que se resisten a ser resueltos con las herramientas del paradigma en cuestión. Si bien es cierto que la adecuación entre un paradigma y la «naturaleza» nunca es total o perfecta —siempre y desde un principio existen problemas no resueltos—, el surgimiento de ciertas anomalías hace pensar que algo anda mal a nivel profundo, y que sólo un cambio en los supuestos básicos hará posible encontrar una solución. Esta etapa en que se cuestiona la eficacia y la corrección del paradigma mismo es la etapa de «crisis».

Con la crisis comienza la «ciencia extraordinaria», esto es, la actividad de proponer teorías alternativas que implican un rechazo o una modificación de los supuestos básicos aceptados hasta entonces. Es en estos períodos cuando cobra auge la reflexión filosófica sobre dichos supuestos o fundamentos. La proliferación de teorías y perspectivas alternativas tiene una importancia crucial en el desarrollo de la ciencia, pues los científicos nunca abandonan un paradigma a menos que exista un paradigma alternativo que permita resolver las anomalías. Las crisis se terminan de alguna de las tres siguientes maneras: 1) el paradigma cuestionado se muestra finalmente capaz de resolver los problemas que provocaron la crisis; 2) ni los enfoques más radicalmente novedosos logran dar cuenta de las anomalías, por lo cual éstas se archivan (se reservan para una etapa futura donde se cuente con mejores herramientas conceptuales e instrumentales), y 3) surge un paradigma alternativo que resuelve las anomalías y comienza la lucha por lograr un nuevo consenso.

Kuhn describe el cambio de paradigmas como una «revolución científica». Las tesis de Kuhn acerca del cambio científico tienen como blanco de ataque los modelos tradicionales de evaluación y elección de teorías (tanto confirmacionistas como refutacionistas), y la noción de racionalidad presupuesta por estos modelos. Al describir el cambio de paradigmas como una revolución, Kuhn está negando que la elección entre teorías pertenecientes a paradigmas distintos sea una cuestión que pueda resolverse aplicando un algoritmo neutral. La elección entre teorías rivales no se puede resolver de manera inequívoca sólo por medio de la lógica y la experiencia neutral (como pretendían los empiristas lógicos), ni mediante decisiones claramente gobernadas por reglas metodológicas (como proponían los popperianos). Las diferencias entre los contendientes durante una revolución científica pueden llegar a ser tan profundas que impidan llegar a cualquier acuerdo sobre qué cuenta como un argumento *decisivo* a favor de alguno de los paradigmas en competencia.

Los cuerpos de conocimientos separados por una revolución, es decir, insertos en paradigmas diferentes, son muy difíciles de comparar, y puede llegar a ser el caso que no exista una *medida común* de su éxito, esto es, pueden ser «inconmensurables». Las diferencias que separan a los defensores de teorías rivales (y que son las responsables de la inconmensurabilidad) son diferencias en los supuestos básicos de los paradigmas: diferencias en los criterios que determinan la legitimidad tanto de los problemas como de las soluciones propuestas; diferencias en la red conceptual a través de la cual se ve el mundo (en la manera de organizar conceptualmente la experiencia), lo cual implica que no hay un lenguaje neutral de observación; diferencias en los supuestos acerca de qué entidades y procesos contiene la naturaleza (en la ontología que se postula); y diferencias en la manera de aplicar y jerarquizar los valores tales como consistencia, simplicidad, adecuación empírica, precisión, fecundidad, etc.

Entonces, como un cambio de paradigma lleva consigo diferencias fundamentales —que generan cambios en el significado y el uso del lenguaje de las teorías rivales—, y como no existe una instancia de apelación por encima de los paradigmas —un marco privilegiado de principios universales—, en los debates no se puede partir de premisas comunes y, por tanto, no se puede *probar* que una teoría es mejor que otra. No puede haber un argumento lógicamente competente o decisivo a favor de ninguna de las teorías. De aquí que el único camino que queda es el de la *persuasión*: cada una de las partes en conflicto trata de convencer a la otra de que adopte sus propios supuestos básicos. La ausencia de argumentos decisivos hace que no se pueda tachar de ilógico o de irracional a quien se niegue a aceptar el nuevo paradigma; y por lo mismo, esta aceptación no ocurre de manera simultánea. Cuando finalmente se reinstaura el consenso alrededor del nuevo paradigma, comienza una nueva etapa de ciencia normal. De esta manera, una vez que una disciplina científica ha alcanzado la madurez, pasa repetidamente a través de la secuencia: ciencia normal-crisis-revolución-nueva ciencia normal.

En los trabajos posteriores a *ERC*, Kuhn desarrolla, clarifica, y a veces modifica sus tesis sobre el desarrollo científico. En cuanto a las unidades de análisis, en *ERC* quedaba claro que las teorías entendidas a la manera tradicional —como sistemas deductivos de enunciados— no podían ser las unidades de análisis adecuadas. Sin embargo, la unidad ahí propuesta, el paradigma, quedaba confusamente caracterizada. En la «Posdata-1969» (Kuhn, 1970a), Kuhn se ocupa de distinguir los dos sentidos de *paradigma* que aquí señalamos desde un principio, y que utilizamos con el fin de hacer más clara la exposición de su modelo. (Los paradigmas en tanto conjunto de compromisos compartidos se denominan «matrices disciplinarias» en la *Posdata*.) Una diferencia importante es que en los trabajos posteriores se debilita el carácter monolítico que tenían los paradigmas en *ERC*, Kuhn parece aceptar cierta independencia entre los componentes de un paradigma y, con ello, que el cambio de paradigmas no implica necesariamente un cambio en todos los supuestos básicos. Esto permitiría enfatizar las líneas de continuidad a través de las revoluciones —sin tener que negar las fuertes discontinuidades—, y reforzar la plataforma que sirve de base al proceso de persuasión.

En cuanto a la evaluación y elección de teorías, Kuhn destaca el papel que juegan los valores tales como adecuación empírica, precisión, simplicidad, coherencia (tanto interna como con otras teorías aceptadas), y fecundidad, en tanto *criterios objetivos* para evaluar y comparar teorías rivales (cuestión que había descuidado en *ERC*). Pero sigue sosteniendo que estos criterios, a pesar de ser la fuente de las *buenas razones* para elegir teorías, no pueden dar lugar a un algoritmo de decisión (no bastan para dictar una decisión inequívoca a toda la comunidad pertinente). Las buenas razones son contextualmente dependientes, históricamente cambiantes y nunca concluyentes. Por tanto, Kuhn reconstruye el cambio científico con un modelo de razones (no de reglas), que da cabida a interpretaciones diversas y a la aplicación no uniforme de los criterios compartidos.

Este enfoque implica un cambio fuerte en la noción de racionalidad científica. Según la noción tradicional (presupuesta en los modelos algorítmicos), todo desacuerdo científico es decidible en principio. Kuhn rechaza esta idea en vista del fenómeno de la inconmensurabilidad, y da cabida a los profundos desacuerdos históricos. Si los desacuerdos y los conflictos son episodios constitutivos del desarrollo de la ciencia, y si la ciencia tomada en su conjunto es el mejor ejemplo de racionalidad de que disponemos, debemos asumir una noción de racionalidad —y un modelo de elección de teorías— que permita reconstruir estos episodios como racionales.

Los desacuerdos, entonces, son resultado de la variabilidad individual en la aplicación de los criterios compartidos en cada contexto. En «Objetividad, juicio de valor y elección de teorías» (Kuhn, 1977), Kuhn explica la manera en que los factores subjetivos se combinan con los factores objetivos en la elección de teorías, y en «Consideración en torno a mis críticos» (1970b) destaca la función vital que cumplen los desacuerdos en el desarrollo científico. La diversidad de juicios en las épocas de crisis y de revolución permite que el grupo de científicos, como un todo, «se cubra en sus apuestas». La falta de unanimidad permite que se distribuyan entre los miembros del grupo los riesgos que hay que correr en esos períodos; así, unos científicos persistirán trabajando en las teorías que se encuentran en dificultades (las cuales muchas veces salen triunfantes), mientras que otros explorarán teorías nuevas y las desarrollarán hasta que puedan llegar a convencer a los demás (lo cual sucede en las revoluciones).

La manera en que Kuhn plantea el problema del cambio de paradigmas implica un cierto tipo de relativismo. La tesis de que no existe una instancia de apelación por encima de los paradigmas, implica una relativización de las normas y los criterios de evaluación a los distintos paradigmas, y también implica la ruptura de la arraigada asociación entre racionalidad y fundamentos últimos. Los cambios científicos se pueden reconstruir como racionales (como apoyados en buenas razones relativas al contexto), aunque no haya principios absolutos de racionalidad, trascendentes a todo marco conceptual.

La búsqueda del *método* que garantizaría la correcta práctica científica y justificaría los conocimientos resultantes, considerada por los filósofos clásicos como el objetivo central de una teoría de la ciencia, es rechazada por Kuhn con base en sus análisis históricos. Kuhn encuentra que los episodios más sobresalientes de la historia de la ciencia violan los pretendidos cánones metodológicos, tanto los propuestos por los inductivistas como por los deductivistas, y que además esto no ha impedido el éxito de la empresa científica. Los abundantes contraejemplos históricos parecen mostrar que más bien los métodos mismos cambian y evolucionan a través del cambio de paradigmas. Entonces, si los métodos no son universalizables, una teoría de la ciencia —una metodología— tiene que ofrecer un modelo que permita entender su cambio y desarrollo.

A raíz del trabajo de Kuhn se pone de relieve que ningún componente de la empresa científica es inmutable o absoluto, se trate de criterios de evaluación, creencias sustantivas acerca del mundo, procedimientos experimentales, herramientas formales, percepciones, datos, intereses, etc. Todo en la ciencia está sujeto a alteración. Se considera ahora que el objetivo de una teoría filosófica de la ciencia es reconstruir racionalmente el cambio y el desarrollo científicos. Esta reconstrucción se hace a través de modelos que en lugar de prescribir *a priori* lo que ha de considerarse racional, se apoyan en la investigación empírica e histórica de casos que revelan lo que es y ha sido la racionalidad científica. Este cambio en la naturaleza de las metodologías imprime un fuerte impulso a la investigación en el nivel metametodológico, esto es, el nivel donde se evalúan las distintas teorías sobre la ciencia. Se plantea de una manera nueva el problema de diseñar criterios que permitan comparar y evaluar estas teorías. Si bien Kuhn no se ha ocupado hasta ahora de hacer propuestas detalladas en este nivel metametodológico, su trabajo puso en claro que la historia de la ciencia es la base de contrastación de los modelos del des-

arrollo científico, y que éstos se deben juzgar en función de su adecuación histórica (cf. Kuhn, 1971).

III. EL MODELO DE LAKATOS

Imre Lakatos (1922-1974) propone su modelo con el propósito de reconstruir la historia de la ciencia como un progreso racional. Con su modelo pretende ofrecer tanto un medio para la evaluación del carácter científico y racional de los sistemas conceptuales, como una herramienta para la reconstrucción histórica del cambio y desarrollo de dichos sistemas.

La propuesta de Lakatos —desarrollada en Lakatos, 1970; y 1971— surge dentro de una perspectiva epistemológica popperiana, y comparte con ésta los siguientes supuestos: el carácter falible de todo conocimiento, la importancia de establecer un criterio de demarcación entre ciencia y no-ciencia, el desarrollo del conocimiento como problema central de la epistemología, y la posibilidad de comparar distintos sistemas conceptuales.

Para este autor, la evaluación de las teorías científicas es una cuestión histórica y comparativa. Dado que las teorías no se pueden poner a prueba de manera aislada ni considerando sólo momentos puntuales de su desarrollo, es necesario partir de unidades de análisis más amplias y complejas que las teorías consideradas en lo individual. Estas unidades son los «programas de investigación científica», los cuales pueden ser juzgados como «progresivos» o «degenerativos», como compitiendo entre sí, y como la base para decidir sobre la racionalidad de una empresa científica particular. Las teorías específicas surgen y se desarrollan como versiones sucesivas de estos programas de investigación, de tal manera que cada programa se plasma en una serie de teorías que evolucionan a lo largo del tiempo.

Cada programa de investigación científica (PI) está caracterizado por: 1) un «núcleo» (*hard core*) de leyes y supuestos fundamentales, que se considera inmune a la refutación por decisión metodológica de los protagonistas; 2) un «cinturón protector» (*protective belt*) de hipótesis auxiliares, que está sujeto a revisión y debe resistir el peso de las contrastaciones, y 3) una «heurística» o conjunto de reglas metodológicas que guían a los científicos sobre qué caminos deben evitar (heurística negativa) y qué caminos deben seguir (heurística positiva), para resolver las dificultades que confrontan las teorías y aumentar su contenido empírico.

Para que un PI se pueda desarrollar es necesario proteger el núcleo que contiene las ideas que lo identifican, sobre todo en las primeras etapas de su crecimiento. La heurística negativa, entonces, prescribe que la evidencia en contra (las anomalías) se desvíe hacia las hipótesis auxiliares. La heurística positiva complementa a la negativa sugiriendo cómo modificar, sofisticar o desarrollar las hipótesis refutables del cinturón protector, con el fin de ampliar el contenido empírico del programa. De esta manera, la sucesión de teorías que constituye un PI presenta dos características: *a)* cada teoría conserva el núcleo de supuestos básicos, y *b)* cada teoría surge de su predecesora mediante la aplicación de los lineamientos heurísticos. No sólo el núcleo sino también la heurística permanece sin cambios a lo largo de la vida de un programa.

La evaluación de un PI consiste en considerar la serie de teorías a que da lugar y determinar si ha conducido a nuevas predicciones. Cuando las teorías posteriores abarcan más de lo que explicaban sus predecesoras, el PI es *teóricamente progresivo* y, por tanto, *científico*. Para Lakatos, el incremento de información empírica es la marca de los PI auténticamente científicos. Ahora bien, cuando además queda corroborado dicho excedente de información —al menos en parte— el PI es *empíricamente progresivo*. De lo contrario, se considera *degenerativo*.

Según Lakatos, una teoría de una serie se considera «refutada» cuando es reemplazada por otra teoría con mayor contenido empírico corroborado. En la contrastación de una teoría, los casos decisivos y cruciales son aquellos que corroboran su excedente de información. Como se puede ver, Lakatos utiliza el término *refutación* de manera peculiar; a diferencia del uso tradicional, la evidencia en contra, por bien establecida que esté, no es una condición suficiente para eliminar una teoría. Las teorías de un PI se enfrentan a múltiples anomalías todo el tiempo, y estas anomalías se vuelven decisivas sólo cuando en el PI se han dejado de producir nuevos tipos de fenómenos, esto es, cuando el cambio de teorías ha entrado en una fase degenerativa.

La historia de la ciencia, en la concepción de Lakatos ha sido y debería ser una historia de programas de investigación en competencia; pero entonces se plantea el problema de cómo se eliminan los PI. La respuesta de Lakatos es que un PI se abandona cuando además de haber entrado en una fase degenerativa, tiene un rival que es empíricamente progresivo. Sin embargo, en el cambio de un PI por otro se presentan serias dificultades que no surgen en el cambio de teorías dentro de un mismo PI (donde la eliminación de una teoría por otra es un proceso relativamente rutinario). Por un lado, el carácter empíricamente progresivo de un PI no es algo que pueda determinarse de manera inmediata; la verificación de las predicciones novedosas puede tomar un tiempo considerable. Por otro lado, siempre es posible que un PI que se encuentra en una fase degenerativa se recupere gracias a ingeniosas y afortunadas hipótesis auxiliares, las cuales transformen retrospectivamente una serie de fracasos en casos corroboradores del programa. De aquí la importancia de la tolerancia metodológica y el rechazo de la «racionalidad instantánea». Sólo *a posteriori* se puede distinguir una simple anomalía de un auténtico contraejemplo, y reconocer qué experimentos tienen un carácter crucial. Un PI triunfa sobre otro sólo después de un prolongado período de desarrollo desigual (progresivo en un caso y degenerativo en el otro), período que puede tomar decenas de años. Pero Lakatos no establece ningún límite temporal.

Si el conocimiento crece por la eliminación de los programas degenerativos en favor de los progresivos, el juicio sobre la racionalidad del cambio científico sólo puede ser retroactivo. Su metodología es normativa en tanto puede afirmar de ciertos episodios científicos que no deberían haber seguido el camino que siguieron, pero no ofrece una evaluación que pueda mirar hacia delante de los actuales programas en competencia. La afirmación de que cierto episodio de investigación no debió seguir el curso que de hecho siguió, y que si lo hizo fue por la intervención de factores externos, supone la distinción que Lakatos establece entre historia interna e historia externa. Para Lakatos, la historia interna debe excluir todos los factores psicológicos y sociales. Debe ser la historia del desarrollo de las ideas que tienen lugar en el mundo del conocimiento articulado, el cual es independiente de los sujetos cognoscentes. En suma, debe ser la historia de programas de investigación anónimos y autónomos. El cambio científico (el paso de un PI a otro) se considera racional cuando obedece sólo a razones de tipo interno, esto es, a razones objetivas.

En cuanto a la evaluación de los diversos modelos del desarrollo científico, Lakatos, junto con los filósofos postempiristas, sostiene que la historia de la ciencia constituye su base de contrastación. Una teoría de la ciencia que no tenga adecuación empírica, adecuación histórica, no puede ser aceptada. La mejor metodología será entonces aquella que reconstruya como racionales una mayor cantidad de episodios de la historia de la ciencia. Sin embargo, este criterio metametodológico parece implicar una circularidad. Se apela a la historia de la ciencia como piedra de toque para comparar metodologías rivales, pero no hay una historia de la ciencia que sea metodológicamente neutral. Lakatos tiene presente esta dificultad y propone partir de las valoraciones que hace la élite científica de ciertos episodios concretos, y construir una teoría general que explique esos episodios así valorados. La teoría de la racionalidad resultante debe permitir la valoración de nuevos casos, e incluso puede conducir a la revisión de juicios previamente aceptados. Por tanto, para Lakatos, la evaluación de las metodologías es un procedimiento totalmente análogo al de la evaluación de los programas de investigación científica.

IV. EL MODELO DE LAUDAN

El modelo de cambio científico propuesto por Larry Laudan es un modelo basado en la solución de problemas. Para este autor, el *objetivo* de la ciencia es obtener teorías altamente eficaces en la solución de problemas. Por tanto, la ciencia *progresa* en la medida en que las teorías sucesivas resuelven más problemas que sus predecesoras.

Laudan considera que cualquier modelo de desarrollo que pretenda dar cuenta de la ciencia como una empresa progresiva y racional, debe reconocer ciertos rasgos del cambio científico que la historia de la ciencia nos muestra como persistentes, a saber: los cambios de teoría son, por lo general, no acumulativos; las teorías no se rechazan simplemente por la presencia de anomalías, ni se aceptan tan sólo por haber sido confirmadas empíricamente; los debates en los cambios de teoría se centran, con frecuencia, en cuestiones conceptuales y no en cuestiones de apoyo empírico; los criterios utilizados por los científicos al evaluar las teorías (que Laudan llama «principios locales de racionalidad») han cambiado considerablemente a lo largo del desarrollo científico; la aceptación o el rechazo no son las únicas actitudes cognoscitivas hacia las teorías, existe una gama más amplia de actitudes epistémicas; los principios de evaluación varían considerablemente de acuerdo con los distintos niveles de generalidad que presentan las teorías; la coexistencia de teorías rivales es la regla más que la excepción, por tanto la evaluación de teorías es, básicamente, una cuestión comparativa; resulta poco plausible que la caracterización del progreso en función de objetivos trascendentes (como la verdad) permita reconstruir a la ciencia como una actividad racional. La propuesta de Laudan, entonces, intenta responder al desafío de ofrecer un modelo que incorpore la mayoría de estos rasgos de la ciencia efectiva. (En Laudan, 1977; 1981 y 1984, se encuentran las principales tesis de este autor sobre la dinámica de la ciencia.)

Laudan considera que el limitar nuestra atención a las teorías, entendidas a la manera tradicional, nos impediría tomar en consideración los compromisos más básicos y a largo plazo que son un componente central de toda investigación científica. Las teorías son versiones específicas de visiones más fundamentales acerca del mundo, y la manera en que se desarrollan y cambian cobra sentido sólo cuando se analizan a la luz de sus compromisos (presupuestos) más básicos. Laudan llama «tradiciones de investigación» (TI) al conjunto de compromisos compartidos por una familia de teorías. Una TI incluye: 1) una ontología (un conjunto de supuestos generales acerca de la clase de entidades y procesos que integran el dominio de investigación); 2) una metodología (un conjunto de normas epistémicas y metodológicas acerca de cómo investigar ese dominio, cómo poner a prueba las teorías, qué cuenta como evidencia, cómo modificar las teorías que estén en dificultades, etc.), y 3) una especificación de los objetivos cognitivos (como, por ejemplo, el de restringirse a enunciados sobre propiedades manifiestas y a teorías inducidas por ellos, objetivo dominante en la «filosofía experimental» del siglo XVIII).

Aunque las TI son las unidades que persisten a través del cambio de teorías, las mismas TI pueden ser abandonadas. La evaluación tanto de las teorías como de las TI depende fundamentalmente de su eficacia en la resolución de problemas. Los problemas que han de ser resueltos son básicamente de dos tipos: *empíricos* y *conceptuales*. Entre los problemas empíricos, Laudan distingue: problemas potenciales, problemas resueltos y problemas anómalos. Los «problemas potenciales», o «no resueltos», son los hechos conocidos acerca de los cuales no hay, hasta el momento, ninguna explicación; los «problemas resueltos», o «reales», son las afirmaciones acerca del mundo que han sido explicadas por alguna teoría viable; y los «problemas anómalos», en relación con una cierta teoría, son problemas que ella no resuelve pero que una teoría rival, que es viable, sí lo hace. Los problemas conceptuales son los problemas que se le presentan a una teoría *T* en las siguientes circunstancias: cuando *T* es internamente inconsistente o encierra ambigüedades conceptuales; cuando *T* entra en contradicción con otras teorías, con los principios metodológicos o con los supuestos metafísicos prevalecientes; cuando *T* no utiliza conceptos de teorías más generales a las que se supone está lógicamente subordinada.

En el modelo de solución de problemas, la eliminación de problemas conceptuales es tan constitutiva del progreso como el lograr un creciente apoyo empírico. Laudan llega a afirmar que es posible que un cambio de una teoría por otra con menos apoyo empírico sea un cambio progresivo, si la segunda resuelve dificultades conceptuales de peso que la primera no ha podido resolver. El objetivo de la empresa científica es, entonces, maximizar la esfera de los problemas empíricos resueltos, al mismo tiempo que se minimiza la esfera de los problemas anómalos y conceptuales. Como en este modelo se rompe de entrada la liga entre retención acumulativa y progreso, es necesario elaborar una medida que compare ganancias contra pérdidas. Esto requiere, a su vez, determinar no sólo el número sino también la importancia de los distintos tipos de problemas (cuestión muy compleja que se intenta elucidar en Laudan, 1977). Siguiendo esta vía, Laudan propone el siguiente criterio de evaluación: la *eficacia global* de una teoría en la resolución de problemas se determina estimando el número y la importancia de los problemas empíricos que resuelve, y restando a esto el número e importancia de las anomalías y de los problemas conceptuales que la teoría genera.

Las actitudes cognoscitivas de aceptación o rechazo no son las únicas que una metodología debe tomar en cuenta. Laudan afirma que los científicos, en muchas ocasiones, consideran que una teoría merece mayor exploración y elaboración, aun cuando no la acepten. La racionalidad de este tipo de actitudes se muestra apelando a la tasa de progreso de una teoría, es decir, a la rapidez con que ha resuelto ciertos problemas. Por ejemplo, una alta tasa inicial de progreso de una teoría puede justificar el que se siga trabajando en ella, a pesar de que su eficacia global para resolver problemas sea menor que la de sus rivales más antiguas y mejor establecidas. La decisión de *aceptar* una teoría depende de su eficacia global en la trayectoria seguida, la decisión de *proseguir* su investigación depende de su tasa de progreso reciente, y ambas cosas requieren de manera indispensable de la comparación con las teorías alternativas. De esta manera, la evaluación abarca tanto un componente retrospectivo como uno prospectivo.

De acuerdo con el componente retrospectivo, una TI es más *adecuada* (más aceptable) que otra cuando el conjunto de sus teorías tiene una eficacia global mayor que el conjunto asociado a la TI rival. De acuerdo con el componente prospectivo, una TI es más *progresiva* (más prometedora) que otra cuando su tasa de progreso es mayor (donde la tasa de progreso de una TI se define como la diferencia entre su adecuación en un momento *t* y su adecuación en un *t'* anterior o inicial). Por tanto, una TI puede ser menos adecuada que una rival y, sin embargo, ser más progresiva. La racionalidad estribaría, según Laudan, en proseguir la investigación de las teorías más progresivas, y en aceptar sólo las teorías más adecuadas.

En *Science and Values* (1984), Laudan abandona el carácter hasta cierto punto jerárquico de su propuesta anterior. De acuerdo con el nuevo modelo, de estructura reticular, las TI evolucionan de tal manera que las primeras y las últimas versiones de una *misma* TI pueden tener muy pocos supuestos en común, si no es que ninguno. Esto se explica por los patrones de dependencia mutua entre los distintos niveles de evaluación, es decir, por las relaciones y acciones recíprocas entre teorías, reglas metodológicas, y objetivos cognitivos. Por ejemplo, el tipo de teorías que se estén construyendo en un campo de investigación puede entrar en conflicto con los objetivos vigentes, y hacer que se modifique el nivel axiológico. Ningún nivel, en ningún momento de la evolución de una TI, es inmune a la crítica y la revisión. A través de este proceso reticular, una serie de cambios graduales llega a producir cambios profundos en las creencias y supuestos de una comunidad científica. A pesar de que los componentes de una TI forman una red interconectada, los cambios rara vez ocurren como una cuestión de todo o nada, y tampoco tienen por qué implicar inconmensurabilidades globales. Como se puede ver, en este enfoque de Laudan la línea divisoria entre evolución y revolución se desdibuja casi por completo.

En el nivel metametodológico, la posición de Laudan en *Progress and its Problems* (1977) coincide en aspectos importantes con la de Lakatos. Existe un conjunto de casos del desarrollo de la ciencia acerca del cual las personas científicamente educadas tienen fuertes y similares «intuiciones normativas» (por ejemplo, era racional aceptar la mecánica newtoniana y rechazar la mecánica aristotélica alrededor de 1800). Estas intuiciones predominantes establecen los casos estándar de racionalidad científica, y son el punto de partida para poner a prueba las metodologías en competencia. Dado un conjunto de casos estándar, los diversos modelos se juzgan por su capacidad para reconstruirlos como racionales. El modelo que resulte más adecuado se utiliza entonces para interpretar y evaluar el resto de episodios de la historia de la ciencia. Esta propuesta metametodológica de Laudan combina aspectos descriptivos y normativos, intentando evitar los extremos de un normativismo apriorista (indiferente a la historia de la ciencia) y de un relativismo histórico radical (que cancela toda función crítica al análisis filosófico de la ciencia).

V. OTROS MODELOS

En relación con los enfoques de Feyerabend, Shapere y Stegmüller, nos limitaremos a señalar algunas de sus tesis más originales, especialmente aquellas que más han contribuido a enriquecer la discusión sobre el cambio científico.

— *Paul Feyerabend* centra el problema del cambio científico en el cambio semántico (Feyerabend, 1965; 1970 y 1975). Propone como unidades de análisis las «teorías globales» (teorías comprehensivas de alto nivel, que dependen fuertemente de supuestos metafísicos), y afirma que cuando se acepta una nueva teoría global, en un cierto campo de investigación, cambian los significados de los términos cotidianos y observacionales utilizados en dicho campo. De aquí que un cambio de teoría global conduzca, por lo general, a la reinterpretación de la experiencia a la luz de las categorías conceptuales de la nueva teoría; incluso se reinterpreta aquello que contaba como evidencia a favor de la teoría global anterior, y a veces resulta que desde la nueva perspectiva se le considera como evidencia en contra.

Como este proceso lleva tiempo y además requiere de la articulación de un buen número de teorías colaterales auxiliares, la nueva teoría, en su etapa inicial, nunca puede tener el grado de apoyo empírico alcanzado por su teoría rival más antigua. Si esto es así, para que las nuevas teorías globales tengan la oportunidad de llegar a ser aceptadas, han de ser evaluadas con criterios distintos de los que se aplican a las teorías mejor desarrolladas. Las nuevas teorías ganan adeptos por la propaganda de sus partidarios más que porque estén bien contrastadas o mejor apoyadas que sus rivales. La aceptación de las teorías globales depende, en parte, de las preferencias subjetivas de los científicos: la *elección* entre teorías que son lo suficientemente generales como para darnos una visión global del mundo, y que además están empíricamente desconectadas entre sí (dada la reinterpretación que sufre la experiencia), puede llegar a ser una cuestión de gusto.

De esta manera, la relación entre teorías globales en competencia es una relación de inconmensurabilidad radical. Dado que sus respectivos conjuntos de consecuencias contrastables pueden llegar a ser ajenos —en vista de que el cambio semántico afecta a todos sus conceptos—, resulta imposible la comparación de dichas teorías (al menos bajo todos los métodos de comparación propuestos por los filósofos de la ciencia tradicionales, los cuales se basan en última instancia en el examen de consecuencias empíricas comunes). Como no puede haber métodos de evaluación y comparación de teorías que sean semánticamente neutrales, Feyerabend concluye que ningún método es universalizable, y mejor para la ciencia que así sea.

De la misma manera que las crisis ecológicas favorecen las mutaciones, las crisis y revoluciones en el desarrollo de la ciencia modifican y multiplican los estándares de evaluación, incluyendo los modelos de argumentación. Este cambio y proliferación de los métodos aumenta el poder de adaptación de la ciencia, y resulta ser condición indispensable de su progreso. El anarquismo metodológico defendido por Feyerabend —en el sentido de que el compromiso con normas inflexibles frustraría toda perspectiva de progreso en la ciencia— da lugar a ciertas recomendaciones que pretenden favorecer el desarrollo científico, como por ejemplo, que la mejor manera de abordar un dominio en el que domina una teoría global es inventando y proponiendo teorías alternativas, ya que con frecuencia las pruebas más duras para una teoría sólo se diseñan después de que se ha formulado una teoría competidora. El famoso «todo vale» de Feyerabend, se traduce en un principio de proliferación de teorías.

La «ciencia normal» kuhniana es un mito según este autor. El crecimiento del conocimiento resulta de la competencia incesante entre diversos puntos de vista defendidos tenazmente. Proliferación y tenacidad coexisten en todos los períodos. Si bien esto marca un acuerdo básico con Lakatos, Feyerabend, por otra parte, niega el carácter acumulativo de cualquier cambio teórico. Según él, lo usual en la historia de la ciencia es que cuando una teoría sustituye a otra haya pérdidas explicativas.

— *Dudley Shapere* rechaza los intentos de analizar el cambio científico en términos de significados y referencias, y propone un modelo basado en la noción de «buenas razones» (Shapere, 1984; 1989). El problema de la comparación de teorías requiere que antes se resuelva el problema de la continuidad entre teorías sucesivas. Shapere propone establecer esta continuidad, tanto en el nivel semántico como en el nivel de la referencia, por medio de «cadenas de razonamientos», y aplica esta propuesta no sólo al cambio de teorías sino al cambio científico en general. Según este autor, no hay ningún presupuesto de la investigación científica que sea inviolable, esencial o universalmente aceptado, y una teoría filosófica de la ciencia debe mostrar que el cambio científico —incluyendo el cambio en los criterios básicos de evaluación— es un proceso racional. La racionalidad de un cuerpo de creencias (tanto científicas como metacientíficas) se establece mostrando la existencia de una cadena de razonamientos que conecta este cuerpo con sus versiones anteriores, esto es, mostrando que cada paso en su génesis a partir de sistemas de creencias anteriores es un paso (cambio) motivado por *buenas razones*.

Según Shapere, es imposible negar que la ciencia se ha vuelto cada vez más autónoma, y trata de explicar esta *tendencia a la autonomía* proponiendo un modelo que reconstruye el desarrollo científico como un *proceso de internalización*. De acuerdo con este modelo, para que una creencia sustantiva funcione como una *buena razón* (como un presupuesto científico legítimo) debe satisfacer los siguientes criterios: 1) haberse mostrado exitosa (empíricamente adecuada en su dominio); 2)

estar libre de dudas específicas (ser consistente, compatible con otras creencias aceptadas, etc.), y 3) ser relevante para el objeto de estudio. Ahora bien, estos mismos criterios son un producto histórico y han sufrido alteraciones como consecuencia del curso de la investigación; además, su especificación está dada por la información disponible en cada época científica particular. Por tanto, existe una interacción dinámica continua entre los criterios y el cuerpo de creencias que se acepta con base en esos criterios. El análisis de la historia nos muestra que el desarrollo científico tiene un carácter autocorrectivo: los criterios han sido, de hecho, revisados, refinados o abandonados a la luz de los descubrimientos que ellos mismos han posibilitado. Si bien existen varios tipos de situaciones donde es necesario utilizar consideraciones *externas* (como cuando se inicia una disciplina), el proceso de internalización las someterá, tarde o temprano, a los procedimientos de revisión que esas mismas consideraciones ayudaron a establecer.

Esta propuesta de Shapere implica un rechazo de la concepción del cambio científico como una cuestión de todo o nada, y por tanto, del carácter monolítico de los contextos teóricos. En su modelo, un cambio en uno de los componentes del contexto ocurre contra el trasfondo de continuidad de los otros componentes, trasfondo sin el cual no podría haber buenas razones para cada cambio. El análisis del cambio a gran escala, el cual se presenta entre marcos conceptuales que son muy distintos, consiste en reconstruir la serie de cambios parciales que conducen de un marco a otro, y en determinar si cada uno de ellos se dio por buenas razones. El problema del cambio científico no nos exige tener que comparar *directamente* marcos drásticamente distintos.

— *Wolfgang Stegmüller* (1923-1991) descubre en el trabajo de Joseph Sneed (1971) una nueva concepción de las teorías científicas y, además, un esbozo de la dinámica de las teorías que permitía, según este autor, formular de manera precisa algunas de las tesis de Kuhn sobre el desarrollo científico. La concepción de Sneed sobre las teorías se apoya, a su vez, en el enfoque formal iniciado por Patrick Suppes. En *Estructura y dinámica de teorías* (1973), Stegmüller presenta el formalismo de Sneed utilizando una notación más clara y simplificada, junto con una discusión detallada del desarrollo de las teorías basada en este formalismo; también plantea críticas agudas a las concepciones del cambio científico de Kuhn, Popper, Lakatos y Feyerabend. Stegmüller impulsa un programa de investigación sobre las teorías científicas, llamado «concepción estructural», y tiene como principales colaboradores a C. Ulises Moulines y a Wolfgang Balzer, además del propio Sneed.

En opinión de Stegmüller, era imprescindible construir un puente entre el enfoque sistemático y el enfoque histórico de la ciencia, que hiciera posible su complementación y enriquecimiento. La base para construir este puente la encuentra en el concepto de teoría acuñado por Sneed, pues según Stegmüller en el fondo de las tesis de Kuhn yace un concepto de teoría completamente distinto del tradicional. En la nueva concepción —la estructural— los elementos mínimos de una teoría empírica son sus *modelos* y no sus enunciados; los modelos quedan caracterizados mediante un predicado conjuntista que axiomatiza la teoría, y esta caracterización se da junto con los siguientes supuestos: las teorías no tienen una única aplicación «cósmica», sino distintos modelos o aplicaciones que, en ocasiones, se superponen parcialmente; existe una distinción importante entre leyes y condiciones de ligadura (las primeras valen en el interior de cada modelo, mientras que las segundas establecen interconexiones entre los distintos modelos); existe una distinción básica entre leyes fundamentales y leyes especiales (las primeras pertenecen al núcleo estructural de una teoría y valen en todas sus aplicaciones, mientras que las segundas sólo valen en algunas de ellas); y, en toda teoría *T* hay dos niveles conceptuales, el *T*-teórico y el *T*-no-teórico (el primero es el de los conceptos cuya aplicación presupone las leyes de *T*, y el segundo el de los conceptos independientes de *T*). Una exposición clara e intuitiva de esta forma de concebir las teorías empíricas se encuentra en Moulines, 1982, especialmente c. 2.2 y 2.4).

Según Stegmüller, esta concepción de las teorías permite, entre otras cosas, introducir de una manera natural un concepto preciso que corresponde a la noción kuhniana de «ciencia normal», y entender sus principales características, disipando la apariencia de irracionalidad que rodeaba a esta noción. También permite formular un concepto de progreso que cubre los casos revolucionarios, es decir, los casos en que una teoría es desplazada por otra teoría que posee un aparato conceptual distinto. Si bien la concepción estructural no es la primera ni la única que ha propuesto un modelo formal para el cambio científico (están las propuestas de Niiniluoto, Tuomela, Nowak, Rantala, Scheibe, Przelecki, etc.), es la primera que ha suscitado una respuesta favorable por parte de la figura más destacada del enfoque histórico. Los comentarios de Kuhn a la propuesta de Sneed-Stegmüller (en Kuhn, 1976), muestran en detalle el valor que puede tener una reconstrucción formal como ésta —que sea suficientemente rica desde el punto de vista lógico y que dé un lugar a los factores de tipo pragmático— en tanto herramienta de análisis de la dinámica de las teorías.

Balzer, Moulines y Sneed, en *An Architectonic for Science* (1987), presentan la versión más desarrollada y completa, elaborada hasta ahora, de la concepción estructural. En cuanto al análisis diacrónico de la ciencia, desarrollan el concepto de «evolución teórica», al cual consideran como el punto de partida de cualquier análisis que se ocupe de los factores históricamente responsables de los cambios que sufren las teorías (de la misma manera que en un estudio mecánico de la naturaleza, el análisis dinámico debe estar precedido por una descripción cinemática precisa). También se refieren estos autores a otros tipos de fenómenos diacrónicos que caen fuera de la evolución de una teoría: el surgimiento de una primera estructura conceptual (paradigma) en un campo de investigación; el surgimiento gradual de un paradigma donde el anterior ya ha desaparecido tiempo atrás y transcurre un periodo de desorganización en la disciplina; el surgimiento repentino de un nuevo paradigma que trae consigo el rechazo del anterior; y el cambio de un paradigma por otro que tiene mejores perspectivas de éxito, cuando esto no implica un rechazo completo del paradigma anterior sino, más bien, el intento de recuperarlo como una buena aproximación del nuevo. De todos estos casos de cambio científico, que no se pretende que sean exhaustivos, los autores reconstruyen formalmente el último y muestran cómo funciona en algunos ejemplos. Con respecto a los otros casos de «cambio profundo» en la historia de la ciencia, consideran que su comprensión requiere que antes se elucide con precisión la estructura de los «cambios pequeños» —como son la evolución teórica o la aproximación entre teorías—, tarea que llevan a cabo en esta obra.

VI. CONCLUSIONES

En relación con las *unidades de análisis*, si bien hay un acuerdo bastante generalizado en que la comprensión del cambio científico requiere tomar en cuenta el marco de supuestos básicos dentro del cual se desarrolla la actividad científica, no hay acuerdo sobre la estructura y el funcionamiento de estos marcos: existe una relativa independencia entre sus componentes que permite que los cambios de marco sean sólo parciales, o constituyen estructuras monolíticas que son desplazadas totalmente. En particular, hay discrepancia sobre si un cambio en los supuestos básicos produce siempre un cambio en los criterios de evaluación y aceptación de las teorías sustantivas. Tampoco hay acuerdo sobre si los marcos tienen una estructura jerárquica, donde cierto tipo de supuestos se mantiene inmutable mientras el marco exista, o si tienen una estructura reticular que permite, por ejemplo, que las teorías sustantivas modifiquen, al desarrollarse, los supuestos de su propio marco. La tendencia actual es a favorecer el carácter no monolítico de los marcos conceptuales (tendencia que se observa en el propio Kuhn), y a favorecer una estructura de tipo reticular (representada en el modelo de Shapere y en la propuesta de Laudan, 1984).

En cuanto al *problema de la evaluación*, los modelos examinados presentan acuerdos significativos alrededor de los siguientes aspectos: los marcos generales no se eliminan tan sólo porque sus teorías asociadas se enfrenten con anomalías (las teorías se enfrentan con dificultades empíricas todo el tiempo); la evaluación de las teorías involucra más factores que su mera relación con lo que cuente como evidencia empírica; los criterios de evaluación han cambiado a lo largo del desarrollo científico y, la evaluación es una cuestión básicamente comparativa, tanto en el nivel de las teorías como en el nivel de los marcos. Sin embargo, hay muy poco acuerdo en la forma en que los distintos modelos reconstruyen la relación entre teorías rivales. Esta falta de acuerdo obedece, sobre todo, a las diferencias acerca del tipo de continuidad que se puede establecer entre marcos sucesivos o rivales, y por tanto, en cuanto a la naturaleza (global o parcial) del cambio científico. Aquí encontramos una variada gama de posiciones que va desde la tesis de la inconmensurabilidad radical de Feyerabend (que implica la intersección vacía entre teorías rivales y su imposibilidad de comparación), hasta la tesis de Stegmüller del desplazamiento progresivo de teorías rivales (que implica la «inmersión o reducción aproximada» de una teoría en otra y la posibilidad de comparar estructuras conceptuales completamente heterogéneas). Como se puede ver, unos autores piensan que la comparación de teorías requiere de una base semántica común, al menos parcial, mientras que otros sostienen que la comparación se puede establecer mediante criterios que básicamente no son semánticos, como por ejemplo, las «cadenas de razonamientos» de Shapere, las «buenas razones» de Kuhn, la «eficacia en la solución de problemas» de Laudan, o la «relación de reducción» entre estructuras conceptuales de distinto tipo, que propone Stegmüller. (Habría que analizar hasta qué punto cada una de estas propuestas permite superar o eludir el problema de la inconmensurabilidad.)

Con respecto al *problema de la racionalidad del cambio,* el acuerdo mayoritario es que la racionalidad científica no se puede caracterizar *a priori.* Sin embargo, este acuerdo viene acompañado por una gran variedad de criterios sobre cuándo un cambio de supuestos y de teorías es racional. Esta variedad corresponde a las distintas maneras en que se analiza la comparación y elección de teorías alternativas. Qué tipo de factores influyen en la aceptación de teorías; cuáles pueden intervenir de manera *legítima*; hay o no una distinción viable entre factores internos y externos, subjetivos y objetivos, científicos y no científicos, y en casos dados, es fija esta distinción o varía históricamente, etc. (son cuestiones que reciben distintas respuestas en los distintos modelos de cambio científico).

Por otra parte, la mayoría de estos modelos ha centrado su atención en los cambios profundos y a largo plazo que ocurren en el nivel de los supuestos básicos, y ha descuidado el análisis de los cambios cotidianos, es decir, de los cambios que ocurren en el desarrollo de las teorías sustantivas (cf. Laudan *et al,* 1986). A este respecto, la concepción estructural constituye una excepción, pues se ha ocupado de precisar un concepto de teoría que permite reconstruir los distintos cambios que puede experimentar una misma teoría en su evolución; también permite reconstruir el cambio de una teoría por otra cuando media entre ellas una relación de aproximación, el cual puede considerarse como un cambio a pequeña escala.

Por último, el examen de los diversos modelos revela que la mayoría de los teóricos del cambio científico confía en la posibilidad de encontrar un patrón único, que sea aplicable a los diversos campos y períodos históricos de la ciencia. De nuevo, los autores de la concepción estructural

se separan de esta tendencia general, al acotar distintos tipos de fenómenos diacrónicos (Balzer, Moulines y Sneed, 1987, c. V); otra propuesta en esta línea es la de Anna Estany (Estany, 1990). Algunos de los teóricos que suponen la existencia de un patrón único ciertamente reconocen que sus modelos tienen una adecuación limitada —que el ajuste en ciertos casos históricos es bueno, pero precario o malo en otros—, pero no obstante consideran que como ocurre con muchas teorías científicas, tomará tiempo y un esfuerzo sostenido articular una teoría del cambio que sea comprehensiva. Sin embargo, es posible que estén equivocados y que haya que abandonar la esperanza de encontrar un modelo global, un patrón único al cual se ajusten todos los casos de cambio científico. El éxito parcial de estos modelos nos permite suponer que han atrapado algunos aspectos significativos de este fenómeno, pero es muy probable que ninguno de ellos nos cuente «toda la verdad» acerca del cambio científico.

BIBLIOGRAFIA

Balzer, W., Moulines, C. U. y Sneed, J. D. (1987), *An Architectonic for Science*, Reidel, Dordrecht.

Colodny, R. (comp.) (1965), *Beyond the Edge of Certainty*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Estany, A. (1990), *Modelos de Cambio Científico*, Crítica, Barcelona.

Feyerabend, P. K. (1965), «Problems of Empiricism», en Colodny (comp.) (1965, 145-260), v.e. «Problemas del empirismo», en Olivé y Pérez Ransanz (comps.) (1989, 279-311).

Feyerabend, P. K. (1970), «Consuelos para el especialista», en Lakatos y Musgrave (comps.) (1975, 345-389).

Feyerabend, P. K. (1975), *Against Method*. New Left Books, Londres, v.e. versión anterior, *Contra el método*, Ariel, Barcelona, 1974.

Hacking, I. (comp.) (1981), *Scientific Revolutions*, Oxford University Press, Oxford, v.e. *Revoluciones Científicas*, FCE, México, 1985.

Kuhn, T. S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1.ª ed.

Kuhn, T. S. (1970a), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago. 2.ª ed., v.e. *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México, 1971.

Kuhn, T. S. (1970b), «Consideración en torno a mis críticos», en Lakatos y Musgrave (comps.) (1975, 391-454).

Kuhn, T. S. (1971), «Notas sobre Lakatos», en Lakatos y Musgrave (comps.) (1975, 511-523).

Kuhn, T. S. (1976), «Theory-Change as Structure-Change: Comments on the Sneed Formalism»: *Erkenntnis 10*, 179-199, v.e. «El cambio de teoría como cambio de estructura: comentarios sobre el formalismo de Sneed», en Rolleri (comp.) (1986, 251-274).

Kuhn, T. S. (1977), *The Essential Tension*, University of Chicago Press, Chicago, v.e. *La tensión esencial*, CONACYT y FCE, México, 1982.

Lakatos, I. (1970), «La falsación y la metodología de los programas de investigación científica», en Lakatos y Musgrave (comps.) (1975, 203-343).

Lakatos, I. (1971), «La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales», en Lakatos y Musgrave (comps.) (1975, 455-509).
Lakatos, I. y Musgrave, A. (comps.) (1975), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Grijalbo, Barcelona.
Laudan, L. (1977), *Progress and its Problems*, University of California Press, Berkeley.
Laudan, L. (1981), «A Problem-Solving Approach to Scientific Progress», en Hacking (comp.) (1981, 144-155).
Laudan, L. (1984), *Science and Values*, University of California Press, Berkeley.
Laudan, L. *(et al.)* (1986), «Scientific Change: Philosophical Models and Historical Research»: *Synthese 69*, 141-223.
Moulines, C. U. (1982), *Exploraciones metacientíficas*, Alianza, Madrid.
Olivé, L. y Pérez Ransanz, A. R. (comps.) (1989), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, Siglo XXI y UNAM, México.
Rolleri, J. L. (comp.) (1986), *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, UNAM, México.
Shapere, D. (1984), *Reason and the Search for Knowledge*, Reidel, Dordrecht.
Shapere, D. (1989), «Evolution and Continuity in Scientific Change»: *Philosophy of Science 56*, 419-437.
Sneed, J. D. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Reidel, Dordrecht.
Stegmüller, W. (1973), *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*, Springer-Verlag, Heidelberg, v.e. *Estructura y dinámica de teorías*, Ariel, Barcelona, 1983.
Stegmüller, W. (1976), «Accidental ("Non-Substantial") Theory Change and Theory Dislodgement»: *Erkenntnis 10*, 147-178, v.e. «Cambio teórico accidental ("no substancial") y desplazamiento de teorías», en Rolleri (comp.) (1986, 215-250).

FUNDAMENTOS DE LA MEDICION

Adolfo García de la Sienra

I. INTRODUCCION

Las teorías de la medición fundamental pretenden dar cuenta, de una manera más bien técnica y formal, de las condiciones que garantizan la existencia de mediciones de magnitudes físicas, biológicas, económicas, psicológicas y en general científicas. Estas condiciones se formulan en un lenguaje no cuantitativo, aunque sí de manera axiomática, y constituyen el puente de transición entre el lenguaje cualitativo de la disciplina en cuestión y el lenguaje de las matemáticas.

Las teorías de la medición se pueden clasificar en tres grandes grupos, correspondientes a las tres grandes posiciones filosóficas que se han ocupado del problema de la relación entre las matemáticas y las ciencias. El primer grupo, el más desarrollado de todos, es el de las teorías operacionalistas. Los autores de este grupo sólo se ocupan de representar operaciones que pueden ser en principio llevadas a efecto en el laboratorio. Naturalmente, estos autores tienden a ubicarse en la filosofía empirista, aunque ello no es necesario y hay excepciones. El segundo grupo es el de las teorías platónicas, cuyos autores reconocen que ciertas magnitudes naturales —como las distancias astronómicas— no son objeto de manipulación experimental, y por tanto, se proponen ver dichas magnitudes como formas platónicas con ciertas propiedades que las hacen susceptibles de medición. Al igual que los platonistas, los teóricos del tercer grupo, los teóricos aristotélicos, reconocen la insuficiencia del enfoque operacionalista, pero rechazan que existan magnitudes naturales, sociales o psicológicas «en sí», independientemente de las sustancias en las que infieren. Acordemente, intentan siempre encontrar condiciones sobre las magnitudes a medir que no supongan que ellas existen independientemente de dichas sustancias.

Las diferencias metafísicas apuntadas tienen consecuencias importantes en cuanto a los recursos lógicos y matemáticos utilizables. También conllevan diferencias en cuanto a los axiomas que se seleccionan para demostrar la existencia de una cierta magnitud. La vida de los filósofos de la ciencia sería ciertamente más fácil si todo el universo pudiera ser manipulado como un laboratorio, pues las técnicas operacionales son las más directas y —al menos hasta el momento— las más desarrolladas. Para una visión global de los campos en los que el operacionalismo ha logrado avanzar, el lector es remitido a Krantz *et al* (1971). Con el objeto de ilustrar los conceptos y los métodos usados por las teorías de la medición fundamental, pero también de comparar los tres grandes enfoques mencionados, veremos el tratamiento que hace el operacionalismo de la medición extensiva y habremos también de ver cómo trata el platonismo la medición de las magnitudes extensivas, para concluir con un tratamiento aristotélico del mismo problema. Pero antes habremos de introducir un marco conceptual general que nos permita estudiar y comparar los diferentes enfoques.

II. CONCEPTOS BASICOS

La piedra angular de cualquier teoría de la medición es la noción de estructura. Esta noción fue desarrollada principalmente por Bourbaki (1968) y aplicada por primera vez a las ciencias por Patrick Suppes, pero aquí sigo la más adecuada presentación de Da Costa y Chuaqui (1988).

Si X es cualquier conjunto, y $P(\cdot)$ denota la potencia del conjunto en el lugar del punto, se define recursivamente $V_n(X)$, el *universo de conjuntos* de rango n sobre X, como sigue. El universo de conjuntos de rango 0 es X mismo, *i.e.*, $V_0(X) = X$. Para cualquier número natural n, el universo de conjunto de rangos $n + 1$ es $V_{n+1}(X) = V_n(X)\ P(V_n(X))$.

También recursivamente se define el conjunto de *tipos de n especies*. Si i es un número natural entre 1 y n, i es un tipo. Si a y b son tipos, entonces $(a, 0)$ y (a, b) son tipos. Observe que si (a, b) es un tipo, entonces $a \neq 0$.

Sean $X_1,\ldots, X_n$ conjuntos y c un tipo de n especies. Se define el conjunto $T_c(X_1\ldots, X_n)$ de objetos de tipo c sobre $X_1,\ldots, X_n$ mediante las siguientes condiciones:

1) Si $c = i$ con $1 \leq i \leq n$ entonces $T_c(X_1\ldots, X_n) = X_i$.
2) Si $c = (a, 0)$ entonces $T_c(X_1\ldots, X_n) = \mathbf{P}(T_a(X_1,\ldots, X_n))$.
3) Si $c = (a, b)$ con $b \neq 0$ entonces $T_c(X_1,\ldots, X_n) = T_a(X_1,\ldots, X_n) \times T_b(X_1,\ldots, X_n)$.

Se dice que un objeto *x es de tipo c sobre* $X_1,\ldots, X_n$ si $x \in T_c(X_1,\ldots, X_n)$.

Sean $X_1,\ldots, X_n, Y_1,\ldots Y_n$ conjuntos y $f_1,\ldots f_n$ funciones tales que $f_i{:}X_i \to Y_i$ para $1 \leq i \leq n$. Se extiende la secuencia f a f_c para cada tipo c del siguiente modo:

1) Si $c = (a, 0)$ entonces $f_0(x) = \{f_a(y) \mid y \in x\}$, para $x \in T_c(X_1,\ldots, X_n)$.

2) Si $c = (a, b)$ con $b \neq 0$ entonces $f_c(X, y) = (f_a(x), f_b(y))$, para

$$x \in T_a(X_1,\ldots, X_n) \quad \text{y} \quad y \in T_b(X_1,\ldots, X_n).$$

Se deja al lector comprobar que, en efecto,

$$f_c : T_c(X_1,\ldots, X_n) \to T_c(Y_1,\ldots, Y_n)$$

y que cada $T_c(X_1,\ldots, X_n) \in V_k\ (X_1,\ldots, X_n)$ para algún k.

Con ayuda del aparato conceptual recién introducido, es posible definir ahora la famosa noción de estructura.

DEFINICIÓN 1.1: Un *sistema o estructura* υ es un cuádruplo (X, Y, t, n) tal que

1) n es un número natural. n determina el *universo* del sistema $\mathfrak{T}$, el cual es precisamente $V_n(X_1 \cup \ldots \cup X_k)$, el cual será el recorrido de las variables del lenguaje que se introducirá para expresar las propiedades de la estructura.

2) X es una secuencia finita de conjuntos $X_1,\ldots, X_k$, llamados los *conjuntos básicos* del sistema. Algunos de ellos, digamos los primeros p $(1 \leq p \leq k)$, son llamados los *conjuntos principales*, los otros son llamados *conjuntos auxiliares*. Puede no haber conjuntos auxiliares.

3) Y es una secuencia finita de objetos $Y_1,\ldots, Y_m$ y t es una secuencia de tipos de k especies $t_1,\ldots, t_m$ tal que Y_i es un objeto de tipo t_i sobre $X_1,\ldots, X_k$, para cada i $(1 \leq i \leq m)$.

El cuádruplo (k, p, t, n) es llamado el *tipo de similaridad del sistema* $\mathfrak{T}$. Se dice que dos sistemas son *similares* si tienen el mismo tipo y los mismos conjuntos auxiliares. Así, se puede ver que una estructura está constituida por conjuntos de objetos acerca de los que la teoría trata principalmente (los conjuntos principales $X_1,\ldots, X_k$), y posiblemente por conjuntos de números u otros objetos matemáticos (los conjuntos auxiliares $X_{x+1},\ldots, X_k$). La noción de universo de conjuntos de rango n (V_n) sirve para determinar el recorrido de las variables del lenguaje que se requiere para formular los enunciados de la teoría: dados los conjuntos básicos $X_1,\ldots, X_k$, existe un número natural n tal que $V_n(X_1,\ldots, X_k)$ es ese universo. Este número puede ser 0, en cuyo caso las variables y los cuantificadores quedan restringidos a la unión de los conjuntos básicos, pero también se puede permitir que recorran un universo más amplio, que incluya relaciones sobre los elementos de aquellos. Los objetos $Y_1,\ldots, Y_m$ son los elementos destacados y las construcciones conjuntistas (relaciones y funciones) erigidas sobre los conjuntos básicos, mismos que fungirán como los significados de los términos primitivos de la teoría junto con los propios conjuntos básicos.

El lenguaje $L_{\mathfrak{U}}$ *apropiado* para manejar el sistema $\mathfrak{A} = (X, Y, t, n)$ es un lenguaje de primer orden con identidad que consta de $\in$ como predicado binario, constantes para los conjuntos básicos y los elementos o construcciones Y sobre ellos, así como la constante V para el universo $V_n(X_1 \cup ... \cup X_k)$. V es el recorrido de las variables de $L_{\mathfrak{A}}$ y sus cuantificadores son referidos a él. Un enunciado $\emptyset$ de $L_{\mathfrak{A}}$ es *verdadero* en $\mathfrak{A}$ si el enunciado conjuntista expresado por $\emptyset$ con las constantes interpretadas del modo especificado es conjuntistamente verdadero. Las definiciones de los conceptos de satisfacción, modelo y consecuencia lógica son las usuales. La expresión $\mathfrak{A} \models \emptyset$ se lee como $\mathfrak{A}$ *satisface* $\emptyset$.

DEFINICIÓN 1.2: Sean $\mathfrak{A} = (X, Y, t, n)$ y $\mathfrak{B} = (U, Z, t, n)$ sistemas del mismo tipo. Entonces se sigue que X e Y tienen, respectivamente, las mismas longitudes k y m que U y Z. Tenemos: 1) La secuencia $f = (f_1,..., f_k)$ es un *isomorfismo* de $\mathfrak{A}$ sobre $\mathfrak{B}$ si $\mathfrak{A}$ y $\mathfrak{B}$ son similares, f_i es una biyección de X_i sobre U_i $(1 \leq i \leq k)$, f_i es la función identidad para los conjuntos auxiliares $X_{p+1},..., X_k$ y, si t_j es el tipo c, $f_c(Y_j) = Z_j$ $(1 \leq j \leq m)$. Se dice que los sistemas son *isomórficos* si existe un isomorfismo entre ellos;

2) un enunciado $\emptyset$ apropiado para $\mathfrak{A}$ es *transportable* si, para cualquier estructura $\mathfrak{B}$ isomórfica a $\mathfrak{A}$, tenemos

$$\mathfrak{A} \models \emptyset \quad \textit{syss} \quad \mathfrak{B} \models \emptyset$$

Se ha hecho popular en los últimos tiempos la idea de que al menos algunas teorías científicas pueden ser axiomatizadas a través de la definición de un predicado conjuntista. Da Costa y Chuaqui se refieren a este tipo de predicados como «predicados de Suppes», concepto que ellos definen como sigue.

DEFINICIÓN 1.3: Un *predicado de Suppes* es una fórmula $P(\mathfrak{A})$ de la teoría de los conjuntos que afirma: «$\mathfrak{A}$ es un sistema de tipo (k, p, t, n) que satisface Γ', donde Γ es un conjunto de enunciados transportables apropiados para (k, p, t, n). Si $P(\mathfrak{A})$, esto es, si $\mathfrak{A}$ satisface P, entonces $\mathfrak{A}$ es llamado un sistema P».

Ejemplos de predicados de Suppes abundan. En aras del ejemplo, el lector puede considerar el predicado «$\mathfrak{G}$ es un grupo», mismo que afirma: «$\mathfrak{G}$ es un sistema de tipo $(1, 1, t, 0)$ que satisface Γ'», donde

$$t = (1, 1), (1), (0), 1$$

y Γ es el conjunto de enunciados

$$\forall x \forall y \forall z\ x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z,$$
$$\forall x\ x \circ e = e \circ x = x,$$
$$\forall x \exists y\ x \circ y = y \circ x = e.$$

En efecto, la secuencia X de conjuntos básicos en este caso consta de uno solo: el universo G del grupo. En este caso no hay conjuntos auxiliares y, por ende, $k = 1$ y $p = 1$. El tipo de la operación del grupo, o, es $(1, 1), (1), (o)$, pues

$$\begin{aligned} & o \in \mathbf{P}((G\ x\ G) \times G) \\ & = \mathbf{P}(T_{(1,1)}(X) \times T_1(X)) \\ & = \mathbf{P}(T_{((1,1),1)}(X)) \\ & T_{(((1,1),1),0)}(X) \end{aligned}$$

El tipo del elemento destacado es 1 porque $e \in G = T_1(X)$. Finalmente, $n = 0$ porque queremos restringir en este caso el recorrido de las variables al universo del grupo G.

Naturalmente, en la formulación de la teoría de los grupos, o de la de cualquier otra estructura, se omite toda mención de los parámetros k, t y n, y se define la estructura sólo en términos de los objetos X e Y; en el ejemplo, la estructura de grupo se identifica así con la terna (G, o, e).

Desde luego, todas las estructuras algebraicas usuales, los espacios vectoriales, topológicos, de probabilidades, y en general las estructuras matemáticas usuales están definidos mediante predicados de Suppes. A continuación habremos de utilizar esta noción para discutir las teorías de la medición, las que constituyen el puente entre las estructuras puramente matemáticas y aquellas que pretenden representar objetos científicos.

Una *estructura científica* es una estructura o sistema definible mediante un predicado de Suppes cuyos conjuntos principales tienen como elementos objetos científicos y cuyas relaciones representan relaciones u operaciones entre dichos objetos. Desde luego, el término «objeto científico» no es matemáticamente definible pero sí es muy importante, pues se refiere a aquellos objetos de los que tratan las teorías científicas, tales como campos gravitatorios, reacciones químicas, organismos biológicos, sistemas ecológicos o sociales, mercados competitivos, etcétera. Como ejemplos de operaciones o relaciones entre objetos científicos podemos mencionar la superposición de campos, la concatenación de varas de medir o el intercambio mercantil.

La noción de representación de una relación entre objetos científicos se puede caracterizar como sigue: Si ρ es una relación entre objetos científicos, decimos que el objeto conjuntista R *representa* ρ syss R es un conjunto de tuplos de entes relacionados por ρ o, más precisamente, si «$\rho(x_1,..., x_k)$» expresa el hecho de que los objetos $x_1,..., x_k$ están relacionados por ρ, decimos que R *representa* ρ syss el hecho de que $(x_1,..., x_k) \in R$ implica que $\rho(x_1,..., x_k)$.

Desde luego, una estructura científica representa ya de por sí una gran cantidad de relaciones y operaciones entre objetos científicos, pero de lo que se trata es de representar matemáticamente dichas relaciones y operaciones. Es decir, se trata de proporcionar una «medición fundamental» de dichas relaciones y operaciones. Una *medición fundamental* de las operaciones o relaciones $\rho_1,\ldots, \rho_n$ de o entre los objetos científicos en X es un homomorfismo φ de la estructura $\mathfrak{A} = (X, R_1,\ldots, R_n)$ en una estructura matemática $\mathfrak{B} = (Y, S_1,\ldots, S_n)$, donde R_i representa a ρ_i $(1 \leq i \leq n)$. Cuando tal homomorfismo existe, decimos que $\mathfrak{B}$ *representa* $\mathfrak{A}$, y también que φ representa las relaciones R_i. Así, la función φ:X $\rightarrow B$ representa la relación R_i (y así, indirectamente, también la relación ρ_i) *syss,* para todo $(x_1,\ldots,x_m) \in R_i$,

$$(x_1,\ldots,x_m) \in R_i \Leftrightarrow (\varphi(x_1), \ldots, \varphi(x_m)) \in S_i$$

Un *teorema de representación* de una estructura científica $\mathfrak{A}$ es un enunciado que afirma la existencia de una función representando las relaciones de $\mathfrak{A}$, y también estableciendo hasta qué punto es única esa función, que puede ser derivada lógicamente a partir de los axiomas que definen la estructura (como Γ en el ejemplo del grupo $\mathfrak{G}$ arriba). Estos axiomas están formulados en lenguaje cualitativo y se supone que son científicamente verdaderos acerca de los objetos de la estructura. Es decir, se supone que su verdad ha sido establecida por medio de los procedimientos epistémicos aceptados por la disciplina. La cláusula del teorema de representación afirmando la existencia de la representación es llamada la *parte existencial;* la que expresa el grado de unicidad es llamada la *parte de unicidad.*

Al igual que su existencia, la unicidad de la medición depende de las propiedades de los objetos científicos en cuestión. Por ejemplo, en la medición de longitudes se tiene que tomar uno de los segmentos a ser medidos (piénsese en una vara), digamos x, como unidad de medición, de modo que la representación asigna a ese segmento el número 1: $\varphi(x) = 1$. De cualquier manera, la razón entre la medida $\varphi(y)$ de cualquier segmento y y la de x no cambia si se toma otra representación φ' en la cual x' es la unidad; esto es:

$$\varphi(y)/\varphi(x) = \varphi'(y)/\varphi'(x)$$

o, poniendo $\varphi(x) = 1$ y $\varphi'(x) = \alpha$,

$$\varphi'(y) = \alpha\varphi(y). \tag{1}$$

Conversamente, es posible empezar con la representación φ con x tomado como unidad y demostrar que la función φ', que toma como unidad el segmento x' tal que $\varphi(x') = 1/\alpha$, satisface la ecuación (1) y es también por ende una representación de la misma estructura. Esta situación se expresa diciendo que las transformaciones de *similaridad*

$$\varphi \rightarrow \alpha\varphi = \varphi' \quad \alpha > 0 \tag{2}$$

son transformaciones *permisibles* de la representación φ. Si las únicas transformaciones permisibles de la representación φ son las definidas por

(2), se dice que φ es única *salvo transformaciones de similaridad* o que es una *escala proporcional,* debido a que los cocientes de los valores a escala están únicamente determinados.

Otro tipo de transformaciones es el de las *monótonamente crecientes,* las que son de la forma

$$\varphi \rightarrow f(\varphi), \tag{3}$$

donde f es cualquier función de variable real estrictamente creciente. Las representaciones cuyas transformaciones permisibles son de la forma (3) son llamadas *escalas ordinales* debido a que sólo el orden es preservado bajo estas transformaciones. De las representaciones ordinales se dice que son únicas *salvo transformaciones monótonamente crecientes.* Ejemplos de escalas ordinales se encuentran en la teoría de la utilidad, donde se construyen funciones ordinales de utilidad, esto es indicadores de preferencias que sólo preservan el orden de éstas.

Otra clase muy conocida de transformaciones es la de las afines. Por ejemplo, es conocida la fórmula para transformar la escala de temperatura en grados Fahrenheit a la escala en centígrados: C = (5/9)(F – 32). En este tipo de transformaciones se tiene que determinar el punto cero (32° F) y la unidad, lo que conduce a las *transformaciones afines,* de la forma

$$\varphi \rightarrow \alpha\varphi + \beta, \quad \alpha > 0 \tag{4}$$

En el ejemplo, $\beta = -(5/9) \cdot 32$ y $\alpha = 5/9$. Se dice que una representación cuyas transformaciones permisibles son las de la ecuación 4 es *única salvo transformaciones afines* y la representación misma es llamada una *escala de intervalos,* pues los cocientes de los intervalos son invariantes:

$$\frac{\varphi'(x) - \varphi'(y)}{\varphi'(z) - \varphi'(u)} = \frac{[\alpha\varphi(x) + \beta] - [\alpha\varphi(y) + \beta]}{[\alpha\varphi(z) + \beta] - [\alpha\varphi(u) + \beta]} = \frac{\varphi(x) - \varphi(y)}{\varphi(z) - \varphi(u)}.$$

Finalmente, algunas representaciones, tales como las de la densidad de los cuerpos en física, son *transformaciones de potencias:*

$$\varphi \rightarrow \alpha\varphi^{\beta}, \quad \alpha > 0, \quad \beta > 0. \tag{5}$$

Naturalmente, de una representación cuyas transformaciones permisibles tienen la forma (5) se dice que es *única salvo transformaciones de potencias.* Dichas transformaciones también son llamadas *escalas de intervalos logarítmicos,* porque una transformación logarítmica de tal escala resulta en una escala de intervalos.

Para finalizar este apartado diremos que una *teoría de la medición* es una estructura científica junto con la demostración de su correspondiente teorema de representación. Sin embargo, también se puede entender por este término una serie de teorías de la medición en el primer sentido, ligadas en un orden lineal de dependencia lógica y que comparten un aparato conceptual común.

III. EL OPERACIONISMO

Para motivar la discusión, supóngase, por ejemplo, que en un laboratorio se tiene una balanza de brazos iguales y un conjunto de pesas $x_1,\ldots, x_k$. Dadas cualesquiera dos de estas pesas, se observa sólo uno de tres casos: x_i pesa estrictamente más que x_j, x_j pesa estrictamente más que x_i, o las dos pesan lo mismo. La primera relación se escribe $x_i > x_j$, la tercera $x_i \sim x_j$. La expresión '$x_i \gtrsim x_j$', significa que x_j no pesa estrictamente más que x_i. También se pueden combinar estas pesas juntándolas en un plato de la balanza. Esta combinación se escribe $x_i \otimes x_j$. Así tenemos relaciones objetivas entre objetos científicos —pesar más o combinarse en el plato de la balanza— y también objetos conjuntistas que representan estas relaciones: $\gtrsim$ y $\oplus$. Con éstos se construye la estructura científica $(X, \gtrsim, \oplus)$ y se define el predicado de Suppes «estructura cerrada extensiva» del siguiente modo.

DEFINICIÓN 2.1: Una *estructura cerrada extensiva* es una terna $(X, \lesssim, \oplus)$ tal que X es un conjunto no vacío, $\gtrsim$ es una relación binaria sobre X y $\oplus$ es una operación binaria cerrada sobre X que satisface los siguientes axiomas para todo $x, y, z, u \in X$:

1) $(X, \gtrsim)$ es un orden débil; esto es, una relación reflexiva, transitiva y conectada.
2) $\oplus$ es débilmente asociativa: $x \oplus (y \oplus z) \sim (x \oplus y) \oplus z$.
3) $\oplus$ es monótona: $x \gtrsim y$ *syss* $x \oplus z \gtrsim z$ *syss* $z \oplus x \gtrsim z \oplus y$.
4) Se cumple la propiedad arquimediana: si $x > y$ entonces, para cualquier $z, u \in X$, existe un entero positivo n tal que $nx \oplus z \gtrsim ny \oplus u$, donde nx se define inductivamente como $1x = x$, $(n + 1)x = nx \oplus x$.

En el caso de las estructuras cerradas extensivas, el teorema de representación tiene el siguiente aspecto.

TEOREMA 2.2: *$(X, \gtrsim, \oplus)$ es una estructura cerrada extensiva syss existe una función φ de valores reales sobre X (φ: $X \to \mathbf{R}$) tal que, para todo $x, y \in X$:*

1) $x \gtrsim y$ *syss* $\varphi(x) \geq \varphi(y)$;
2) $\varphi(x \oplus y) = \varphi(x) + \varphi(y)$

La función φ es única salvo transformaciones de similaridad. La demostración requeriría de más espacio del que aquí disponemos. El lector interesado en la misma es remitido a Krantz *et al* (1971) [1]. Estos mismos autores reconocen que

> [a]unque la noción de una estructura extensiva cerrada es simple y elegante, es irrealista como teoría de la medición. Esto no es así sólo debido a la idealización involucrada en la suposición de que $(A, \gtrsim)$ es un orden débil, sino más bien porque se supone que $\oplus$ es una operación cerrada. La segunda suposición implica tanto que A es infinito como, con el axioma arquimediano, que podemos construir entidades arbitrariamente grandes [2].

Para resolver esta dificultad, Krantz y sus colaboradores desarrollaron la noción de estructura extensiva sin máximo esencial, en la que no se supone la clausura de la operación de concatenación, sino que se restringe a los pares contenidos en un conjunto $Y \subseteq X \times X$. El correspondiente predicado de Suppes se define como sigue.

DEFINICIÓN 2 3: Sea X un conjunto vacío, $\gtrsim$ una relación binaria sobre X, Y un subconjunto no vacío de $X \times X$ y $\oplus$ una función binaria de Y en X. El cuádruplo $(X, \gtrsim Y, \oplus)$ es una *estructura extensiva sin máximo esencial syss* los siguientes axiomas son satisfechos para todo $x, y, z \in X$:

1) $(X, \gtrsim)$ es un orden débil.
2) Si $(x, y) \in Y$ y $(x \oplus y, z) \in Y$, *entonces* $(y, z) \in Y$, $(x, y \oplus z) \in Y$ y
$$(x \oplus y) \oplus z \gtrsim x \oplus (y \oplus z).$$
3) Si $(x, z) \in Y$ y $x \gtrsim y$, entonces $(z, y) \in Y$ y $x \oplus z \gtrsim z \oplus y$.
4) Si $(x, y) > y$ entonces existe un $z \in X$ tal que $(y, z) \in Y$ y $x \gtrsim y \oplus z$.
5) Si $(x, y) \in Y$ entonces $x \oplus y > x$.
6) Toda secuencia estándar estrictamente acotada es finita, donde $x_1,\ldots, x_n,\ldots$ es una *secuencia estándar* si para $n = 2,\ldots, x_n = X_{n-1} \oplus x_1$, y es *estrictamente acotada* si para algún $y \in X$ y para todo x_n en la secuencia, $y > x_n$.

Se dice que la estructura carece de máximo esencial, pues también se pueden construir estructuras científicas en las que alguna magnitud (como la velocidad en la teoría de la relatividad) tenga un máximo esencialmente no superable. Aunque la estructura carece de máximo esencial, puede haber un objeto x que no sea concatenable con ningún otro, en cuyo caso $(x, y) \notin Y$ para todo $y \in X$.

1. Véanse pp. 77-81. En este libro se puede encontrar también una amplia bibliografía. Usualmente los resultados nuevos en el campo de la medición fundamental se publican en el *Journal of Mathematical Psychology*.

2. *Ibid.*, 81-82. La traducción es mía.

Desde luego esta nueva estructura es más realista que la anterior, pero su motivación operacionalista la limita a operaciones de laboratorio. Para ver cómo falla en casos no manipulables en el laboratorio, por lo demás bastante cercanos y prácticos, considérese el problema de proporcionar una medición fundamental de la trayectoria recorrida por un barco que tiene el siguiente itinerario: Veracruz-La Habana-Gran Canaria-Oporto-Cádiz. Si x es la trayectoria recorrida entre Veracruz y La Habana, z es la trayectoria Veracruz-Gran Canaria, y la recorrida entre Oporto y Cádiz, entonces se ve que la trayectoria $x \oplus z$ está definida, pues es la trayectoria Veracruz-Gran Canaria. Sin embargo, la trayectoria (z, y) no está definida, pues hay un hiato entre las trayectorias Habana-Gran Canaria y Oporto-Cádiz. Por tanto, el axioma 3 de la definición falla, pues no podemos manipular la trayectoria Oporto-Cádiz (la cual es esencialmente una secuencia de *lugares* concretos y determinados, con paisajes y nombres especiales) para yuxtaponerla con la secuencia de lugares Habana-Gran Canaria, como si fuésemos una especie de pequeños dioses arbitrarios.

En este ejemplo se ve claramente cómo las suposiciones operacionalista pueden limitar esencialmente la aplicabilidad de las estructuras construidas sobre ellas. A continuación veremos un par de esfuerzos encaminados a tratar de superar estas limitaciones.

IV. UNA TEORIA PLATONICA DE LAS MAGNITUDES EXTENSIVAS

Brent Mundy (1987) ha observado lo insatisfactorias que pueden resultar las teorías operacionalistas de la medición. Aludiendo a las estructuras extensivas sin máximo esencial, Mundy observa lo siguiente:

> Este aspecto de las teorías de la cantidad de primer orden [que las concatenaciones existen siempre que no exceden cierto tamaño] no parece ser satisfactorio. Primero, pueden perfectamente existir magnitudes que son más grandes que el límite práctico de concatenación pero a las cuales quisiéramos no obstante que nuestra escala asignase un valor (distancias astronómicas, etcétera). Segundo y lo que es más importante, independientemente de cuál cota es escogida, la hipótesis de que para cualesquiera dos objetos reales cuya suma no excede esa cota *en realidad existe* un objeto igual a esa suma es extremadamente implausible, y ciertamente no está bien apoyada por la evidencia empírica si «objeto» se entiende de modo normal (*i.e.*, para incluir sólo objetos separados, no «subobjetos» mereológicos de objetos reales y similares entidades problemáticas) [3].

Con el objeto de evitar esas dificultades, Mundy introduce una teoría platónica de la medición extensiva. Esta teoría se distingue de la anteriormente mencionada en que las operaciones y relaciones no están definidas sobre cuerpos o sustancias físicas, sino sobre *propiedades*. A diferencia de la relación de comparación o la operación de concatenación en una estructura extensiva, en la cual están definidas sobre cuerpos físicos como varas o pesas, en una estructura de Mundy estas relaciones están definidas sobre magnitudes extensivas tomadas en abstracto («en sí»), sin referencia a objetos que pudieran ejemplificarlas, aunque Mundy tiene el cuidado de introducir lo que él llama una ley puente para cada cantidad, mediante la cual establece conexiones entre *algunas* magnitudes y objetos físicos. Así, la operación de comparación es tomada como una propiedad de segundo orden, una propiedad de propiedades extensivas como longitudes, masas, etcétera. Restringiéndonos a cualquier tipo de estas propiedades, podemos reconstruir las estructuras de Mundy como sigue: sea $\triangle$ la relación definida por el enunciado «$x \triangle y$ *syss* $x \gtrsim y$ o $y \gtrsim x$». Entonces tenemos.

3. Mundy, 1987, 32. La traducción es mía.

DEFINICIÓN 3.1: Una *estructura extensiva de Mundy* es una terna $\langle X, \gtrsim, \oplus\rangle$ tal que X es un conjunto no vacío y $\oplus$ es una operación binaria cerrada sobre X, que satisface los siguientes axiomas para todo $x, y, z \in X$:

1) $\gtrsim$ es reflexiva, antisimétrica y transitiva.
2) Si $x \triangle y$ y $x \triangle z$ entonces $y \triangle z$.
3) $\oplus$ es asociativa.
4) $\oplus$ es monótona: si $x \triangle z$, $x \gtrsim y$ *syss* $x \oplus z$ *syss* $z \oplus x \gtrsim z \oplus y$.

Los elementos de X deben ser interpretados como propiedades de cierto tipo (*e.g.* longitudes) no necesariamente ejemplificadas en el mundo real. Así, si $x \in X$, entonces x es una cierta longitud aunque quizá jamás en la historia del universo llegue a haber un objeto físico de longitud x. La relación $\gtrsim$ se interpreta como «mayor que», de modo que '$x \gtrsim y$' significa que la longitud x es mayor que la longitud y. $\oplus$ es la concatenación de longitudes. Por ejemplo, si x es la longitud de la curva descrita por nuestro barco de Veracruz a la Gran Canaria e y la descrita por el mismo de Oporto a Cádiz, entonces x está definida y su medida es igual a la suma de las medidas de x e y.

A partir de los axiomas 1)-4) Mundy demuestra la existencia de una representación que él llama débilmente fiel, la cual es única salvo transformaciones de similaridad, siempre y cuando tanto ella, como cualquier otra asignen al mismo elemento un número finito distinto de cero. Esta restricción se debe a que puede haber dos escalas, una de las cuales asigne a un elemento dado un número real, mientras que la otra asigne a ese mismo elemento un número infinitesimal.

V. UNA TEORIA ARISTOTELICA DE LAS MAGNITUDES EXTENSIVAS

Aunque la teoría de Mundy da cuenta de la medición de las magnitudes extensivas usuales, puede no ser satisfactoria para aquellos que sostienen que no existen las propiedades que nunca son ejemplificadas. Es ciertamente muy cómodo postular una longitud de tamaño arbitrario (si es que se puede uno expresar de este modo), pero otra cosa es dar razones basadas en la naturaleza de los entes físicos para afirmar que tal longitud existe. Decir que existe «como una abstracción» yerra el blanco del todo, pues la finalidad de la medición fundamental es *justificar* la existencia de ciertas abstracciones en primer lugar. No es que las estructuras científicas estén enteramente desprovistas de suposiciones idealizantes, sino que hay una tensión y una lucha continuas para acercarlas lo más que se pueda a lo concreto. La teoría de Mundy parece una capitulación en esta lucha.

Por lo demás, dicha capitulación es innecesaria. Es más difícil aceptar la existencia de «magnitudes en sí» que aceptar que los cuerpos físicos o las trayectorias pueden ser partidas en subcuerpos o subtrayectorias. La lógica modal no va a proporcionar las leyes generales que rigen estas particiones posibles, sino la mereología, y además el sí y el cómo de cualquier partición especial es un asunto que se tiene que dirimir con base en la información científica disponible [4].

Con el objeto de discutir la posibilidad de una medición fundamental de las magnitudes extensivas que eluda tanto los problemas del operacionismo como los del platonismo, considérese el problema de medir una trayectoria como la arriba mencionada, la longitud de un objeto físico como una viga, o cualquier otra longitud.

Considere una trayectoria —una secuencia de lugares físicos— o mejor una sustancia material —digamos una viga de madera— que tiene la forma de un paralelepípedo. La altura de cualquier paralelepípedo es la longitud de cualquiera de los segmentos ortogonales a sus bases y encerrados por esas bases. De acuerdo con Francisco Suárez, quien sigue al filósofo en este respecto [5], estos segmentos no son imaginarios, dado que son entes reales en la categoría de la cantidad, inherente en la viga dada. La tarea de una teoría aristotélica de la medición fundamental es darle sentido ontológico a la medición de las longitudes de estos segmentos —que llamaremos «segmentos principales»— y a la de sus subsegmentos.

Por supuesto, que cualquier asignación de números a los segmentos contaría como una medición de sus longitudes. La primera condición que una medición tal tiene que cumplir es que debe asignar el mismo número a segmentos de la misma longitud, y otro requisito es que si un segmento puede ser dividido en dos segmentos x, y, entonces los números asignados al segmento y a sus partes x, y debe ser tal que la suma de los números asignados respectivamente a x, y tiene que ser igual al número asignado al segmento completo, *i.e.*, la medición tiene que ser *extensiva.* Una cuestión que surge naturalmente es qué tan finamente que tiene que estar granulado el segmento principal, cuáles son los segmentos más pequeños en los que puede ser dividido el segmento, o si la división

4. Para un sistema mereológico físicamente plausible, véase Suppes, 1973, 383-401.

5. Ver Disputación XL, parte VI, 5.

puede continuar al infinito. Esto plantea el viejo problema metafísico de la composición del continuo, un problema que fue caracterizado por Leibniz como uno de los laberintos de la mente humana [6]. Este profundo problema metafísico tiene una incidencia directa en la elección de los axiomas que garantizan la existencia y unicidad de la medición. Krantz *et al* (1971) introdujeron un axioma de regularidad para la medición extensiva que sólo puede ser interpretado de dos maneras: (i) los segmentos pueden ser infinitamente divididos (éste es el punto de vista de Leibniz), o (ii) hay una subdivisión más pequeña d tal que la longitud de cualquier otra subdivisión es un múltiplo de la de d (ésta es una versión del punto de vista opuesto). En general, el punto de vista opuesto es precisamente que los segmentos pueden ser divididos en un número finito de partes más pequeñas, siendo sus longitudes no necesariamente múltiplos de la longitud de la parte más pequeña de ellos. De acuerdo con la física contemporánea, los cuerpos no pueden ser divididos *ad infinitum,* de modo que esta disciplina apoya más bien el punto de vista finitista [7].

La cuestión que surge ahora es si la estructura mereológica de cualquier segmento garantiza la existencia de mediciones de longitud, suponiendo que el punto de vista finitista es verdadero. Claro, puesto que la medición de longitud consiste en comparar cualquier segmento con un segmento común tomado como unidad, *i.e.*, en determinar «cuántas réplicas concatenadas» de esta unidad son equivalentes a cualquier longitud determinada; si no hay parte o segmento más pequeño tal que todo otro segmento es un múltiplo de esa parte más pequeña, entonces no es posible ninguna medición. La única manera de medir los segmentos en los cuales puede ser dividida la altura del segmento principal es entonces traer una unidad de fuera del segmento tal que todos aquellos segmentos son múltiplos de dicha unidad. Nótese que esto presupone: (i) que hay otra sustancia material tal que posee un segmento de línea del tipo requerido, y (ii) que los segmentos en los cuales la altura de la viga puede ser dividida son *conmensurables.*

En el caso de las vigas, consideraciones de homogeneidad hacen plausible que la rebanada a lo ancho más delgada tiene la misma anchura por doquier, de modo que en este caso el axioma de regularidad es verdadero con la interpretación de que hay una subdivisión más pequeña d tal que la longitud de cualquier otra subdivisión es un múltiplo entero de la de d. Observe que el axioma de regularidad que introduciremos también se puede interpretar como una consecuencia de la concepción leibniziana del continuo. Obviamente, la representación requerida puede ser construida meramente asignándole el número 1 a cualquier subdivisión más pequeña d y el número k a un segmento que sea equivalente a

6. Cf. Brown, 1984, 153, n. 12. El otro «laberinto» es el problema de reconciliar la presciencia de Dios con el libre albedrío humano.

7. Y por ende no sustenta la teoría platonista de Mundy arriba expuesta, conforme a la cual puede haber segmentos de longitud infinitesimal.

«k réplicas concatenadas de d». Pero ésta es una manera operacionalista de describir la construcción que no necesariamente funciona cuando están en juego objetos de grandes dimensiones. Un tratamiento filosófico adecuado requiere la introducción de herramientas conceptuales más precisas.

Considere, por ejemplo, el conjunto X que tiene como elementos un segmento principal particular, ortogonal a las bases de la viga y determinado por esas bases, así como todas sus partes potenciales, *es decir,* los segmentos en que puede ser dividido hasta los segmentos más pequeños. Si x, y son cualesquiera elementos de X, escribimos $x \gtrsim y$ *syss* la magnitud de x es mayor o igual que la magnitud de y. Observe que esta relación es independiente de que se efectúe realmente la comparación entre segmentos por un agente y, por ende, *no* debe ser concebida operacionalmente. Escogemos ahora una dirección en la viga, por ejemplo con respecto a las manos, y designamos una derecha y una izquierda en la viga (a lo largo). Introducimos ahora un conjunto Y de pares (y, z) como sigue: El par (y, z) está en Y hay un segmento $x \in X$ tal que x puede ser dividido en y y z, e y es un subsegmento de x a la izquierda de z; en este caso escribimos $x = y \oplus z$. Observe que el hecho de que hayamos escogido determinar la dirección del segmento con respecto a las manos no hace a la dirección una entidad subjetiva. Una dirección es una ordenación real entre las partes de un cuerpo; en el caso presente, hay dos ordenaciones entre las partes del segmento, cada una determinada por un extremo de la viga, el cual es el primer elemento en el orden correspondiente. Al elegir una derecha y una izquierda en la viga sólo estamos escogiendo una de estas dos ordenaciones preexistentes. La siguiente definición introduce axiomas que son conjuntamente suficientes para demostrar el teorema de representación requerido. Discuto su significado y justificación físicos más abajo.

DEFINICIÓN 4.1: $\langle X, \gtrsim, Y, \oplus \rangle$ es una *estructura extensiva aristotélica, syss* se cumplen los siguientes axiomas para todo $x, y, x, u, v, w \in X$:

1) $\langle X, \gtrsim \rangle$ es un orden débil.
2) (*Congruencia*) Si están definidos $x \oplus y$ y $z \oplus w$, y $x \sim z$, $y \sim w$, entonces $x \oplus y \sim z \oplus w$.
3) (*Dominancia*) Si $(x, y) \in Y$, $x \gtrsim z$ y $y \gtrsim w$, entonces hay $u, v \in X$ tales que $(u, v) \in Y$ y $u \sim z$, $v \sim w$. Más aún, $x \oplus y \gtrsim u \oplus v$.
4) (*Descomposición*) Si $(x, y) \in Y$ y $x \oplus y \sim z$, entonces existen $u, v \in X$ tales que $(u, v) \in Y$, $u \sim x$, $v \sim y$ y $z = u \oplus v$.
5) (*Asociatividad*) $(x, y) \in Y$ y $(x \oplus y, z) \in Y$ syss $(y, z) \in Y$ y $(x, y \oplus z) \in Y$; *y cuando ambas condiciones son el caso.*

$$(x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z)$$

6) (*Positividad*) Si $(x, y) \in Y$, entonces $x \oplus y > x$.

7) (*Regularidad*) Si $x > y$, entonces existen $x, w, u \in X$ tales que $z \sim x$, $w \sim y$, $(w, u) \in Y$ y $z \gtrsim w \oplus u$.
8) (*Axioma arquimediano*) Toda secuencia estándar estrictamente acotada es finita. Decimos que $x_1, \ldots, x_n, \ldots$ es una secuencia estándar *syss* hay una secuencia $y_1, \ldots, y_n \ldots$ tal que $y_i \sim y$, con $(y_i, y_{i+1}) \in Y$ $(i, j = 1, \ldots n, \ldots)$ y, más aún, hay otra secuencia $z_1, \ldots, z_n, \ldots$, definida por $z_1 = y_1$, $z_n = z_1 \oplus z_{n-1}$, $y_1 = z_1$, con $x_k \sim z_k$; es estrictamente acotada *syss* hay un $x \in X$ tal que $x > x_n$ para todo x_n en la secuencia.

Como ya es usual, «$x \sim y$» es una abreviatura de «$x \gtrsim y$ y $y \gtrsim x$», mientras que «$x > y$» es una abreviatura de «$x \gtrsim y$ y no $y \gtrsim x$».

El axioma 1 afirma que dos segmentos cualesquiera en X son comparados por la relación $\gtrsim$: que de cualquier par $x, y \in X$ o bien la longitud de x es mayor o igual que la longitud de y o viceversa. También, que la relación $\gtrsim$ es transitiva. Se puede ver que el axioma es físicamente verdadero.

2) afirma la congruencia de dos segmentos cualesquiera cuyas partes en los que son divisibles por dos son ellas respectivamente congruentes.

3) afirma que si hay un segmento dividido en dos, cuyas partes dominan respectivamente sendos segmentos, entonces hay otro segmento también divisible en dos, cuyas partes son respectivamente congruentes a los segmentos dominados, ya que es él mismo dominado por el segmento original más largo. Un poco de reflexión espacial revela que esto es correcto.

4) afirma que si un segmento es congruente con un segmento divisible en dos partes, entonces el primer segmento puede ser dividido en dos partes que son congruentes con las partes del segmento dado. Es fácil ver que el axioma es verdadero.

5) es obvio, pues no importa el orden en que un segmento es dividido.

6) es también obvio, pues la longitud de un segmento es siempre mayor que la longitud de cualquiera de sus segmentos propios.

7) es el axioma de regularidad mencionado anteriormente en conexión con el problema de la composición del continuo. Lejos de ser obviamente verdadero, expresa una solución determinada al enredo metafísico de la naturaleza del continuo. El axioma es verdadero, sin embargo, si los segmentos de líneas inherentes en los cuerpos son continuos en el sentido adoptado por Leibniz y Aristóteles (en *La física,* Libro VI, 231[a] 20-231[b] 21), o si es el caso que están compuestos de un número finito de subsegmentos congruentes como se discutió arriba.

El sentido del axioma 8) es que si tenemos una secuencia de segmentos, la longitud de cada término de la secuencia siendo mayor que el término previo exactamente por la misma diferencia que la de cualquier otro par de términos consecutivos, y todos los términos de la secuencia están estrictamente dominados por el mismo segmento, entonces la secuencia es finita. A grandes rasgos, esto afirma la inexistencia de segmentos de longitud infinitesimal, *i.e.*, de segmentos tales que ninguna adición finita de los mismos —no importa cuán larga— jamás sobrepasará la longitud de un segmengo finito dado. El axioma parece ser verdadero de longitudes reales.

Estas aserciones físicas son suficientes para demostrar el siguiente teorema.

TEOREMA 4.2: $(X, \gtrsim, y, \oplus)$ *es una estructura extensiva aristotélica syss existe una función* φ *de valores reales sobre* X $(\varphi: X \rightarrow \mathrm{R})$ *tal que, para todo* $x, y \in X$:

1) $x \gtrsim y$ *syss* $\varphi(x) \geq \varphi(y)$.
2) $\varphi(x \oplus y) = \varphi(x) + \varphi(y)$.

La función φ *es única salvo transformaciones de similaridad.*

La demostración del teorema es complicada y no puede ser presentada aquí por razones de espacio. El lector interesado en la demostración es remitido a García de la Sienra (1990). Por lo demás, el objeto de este artículo no es abrumar al lector con detalles técnicos, sino tan sólo proporcinarle una noción de las técnicas y los problemas de este importante campo de la teoría de la ciencia.

BIBLIOGRAFIA

Bourbaki, N. (1968), *Theory of Sets*, Herman and Addison-Wesley, Boston and Reading.
Brown, S. (1984), *Leibniz*, University of Minnesota Press, Minneapolis.
Da Costa, Newton C. A. y Chuaqui, R. (1988), «On Suppes' Set-Theoretical Predicates»: *Erkenntnis 29*, 95-112.
García de la Sienra, A. (1990), «Estructuras y representaciones»: *Crítica 64*, 3-21.
Krantz, D. H., Luce P., A. Suppes y Tverski, A. (1971) *Foundations of Measurement I*, Academic Press, New York.
Mundy, B. (1987), «The Metaphysics of Quantity»: *Philosophical Studies 51*, 29-54.
Suárez, F. (1960), *Disputaciones metafísicas*, Gredos, Madrid.
Suppes, P. (1973), «Some Open Problems in the Philosophy of Space and Time», en *Space, Time and Geometry*, D. Reidel, Dordrecht.

INDICE ANALITICO

INDICE DE NOMBRES

NOTA BIOGRAFICA DE AUTORES

Mario Casanueva (México, 1958). Profesor en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalaga de México. Autor de diversas ponencias, colaboraciones en obras colectivas y artículos en revistas especializadas.

Javier Echeverría (Pamplona, 1948). Especialista en filosofía e historia de las matemáticas, ejerce la docencia en el departamento de lógica y filosofía de la ciencia de la Universidad del País Vasco. Autor, entre otras obras, de *Leibniz, el autor y su obra* (1981), *Análisis de la identidad* (1987), *Introducción a la metodología de la ciencia: filosofía de la ciencia en el siglo XX* (1989). Editor, junto con A. Ibarra y Th. Mormann, de *Spaces in Mathematics* (1992).

Adolfo García de la Sienra (Monterrey, México, 1951). Investigador del Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialista en filosofía de la economía, lógica aplicada y metafísica. Ha escrito *The logical foundations of the marxian theory of value* (1992), así como numerosos artículos en publicaciones especializadas.

César Lorenzano (Santa Rosa, Argentina, 1937). Especialista en ciencias biomédicas y en las relaciones entre epistemología y teoría del arte. Profesor en la Universidad de Buenos Aires. Ha publicado *La estructura psicosocial del arte* (1982), *La estructura del conocimiento científico* (1988), así como numerosas colaboraciones en obras colectivas y artículos en revistas especializadas.

Sergio F. Martínez Muñoz (Guatemala, 1950). Investigador del Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Autor de numerosos artículos sobre filosofía de la ciencia en revistas especializadas.

Jesús Mosterín (Bilbao, 1941). Profesor del departamento de lógica, historia y filosofía de la ciencia de la Universidad de Barcelona, especializado en información y racionalidad. Entre sus publicaciones destacan: *Lógica de primer orden* (^{3}1983), *Conceptos y teorías en la ciencia* (^{2}1987), *Kurt Gödel: Obras completas* (^{2}1989).

C. Ulises Moulines (Caracas, 1946). Profesor de filosofía de la ciencia en el Instituto de Filosofía, Universidad Libre de Berlín. Ha publicado obras como *La estructura del mundo sensible* (1973), *Zur logischen Rekonstruktion der Thermodynamik* (1975), *Exploraciones metacientíficas* (1982), *Pluralidad y recursión* (1991).

Ana Rosa Pérez Ransanz (Córdoba, Veracruz, 1951). Investigadora del Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialista en filosofía de la ciencia. Ha publicado, en colaboración con León Olivé, *Filosofía de la ciencia: teoría y observación* (1989), así como diversos artículos en revistas especializadas.

Andrés Rivadulla (Tetuán, 1948). Profesor de filosofía de la ciencia en el departamento de lógica y filosofía de la ciencia de la Universidad Complutense de Madrid. Entre sus publicaciones destacan: *Filosofía actual de la ciencia* (1986), *Probabilidad e inferencia científica* (1991), al igual que numerosas colaboraciones en medios especializados.

Roberto Torretti (Santiago de Chile, 1930). Profesor del departamento de filosofía en la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras. Se dedica principalmente a la filosofía de las ciencias físicas y matemáticas. Entre sus publicaciones destacan: *Manuel Kant. Estudio sobre los fundamentos de la filosofía crítica* (1967), *Philosophy of geometry from Riemann to Poincaré* (1978), *Relativity and geometry* (1983), *Creative understanding: philosophical reflections on physics* (1990).

ENCICLOPEDIA IBEROAMERICANA DE FILOSOFÍA

Plan general

ISBN 8487699723