

01058
19.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

Reconstrucción Lógica de Teorías Empíricas.

El caso de la Hidrodinámica de Fluidos Ideales.

TESIS PRESENTADA POR

Jorge Gabriel Flematti Alcalde



PARA OBTENER EL GRADO DE

Maestro en Filosofía

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
ESTUDIOS SUPERIORES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

01058
1983

México D.F., 1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Indice

	Página
INTRODUCCION GENERAL.....	1
SIMBOLOS LOGICOS Y MATEMATICOS USADOS EN ESTA TESIS.....	11
CAPITULO 1: EL POSITIVISMO LOGICO COMO ANTECEDENTE HISTORICO DE LOS PROGRAMAS DE RECONSTRUCCION LOGICA DE TEORIAS EMPIRICAS.	14
1.1. Los orígenes del positivismo lógico.....	15
1.2. Los positivistas lógicos y la filosofía.....	21
1.3. La determinación de las proposiciones significativas	23
1.4. El análisis semántico del positivismo lógico.....	25
1.5. El programa de unificación de la ciencia.....	29
1.6. Positivismo lógico y verificabilidad de los enunciados.....	38
1.7. La concepción de las teorías científicas del positivismo lógico.....	42
CAPITULO 2: AXIOMATIZACION DE TEORIAS EMPIRICAS.	48
2.1. Axiomatización de teorías.....	49
2.2. Las diferentes aproximaciones.....	57
2.3. Algunos lineamientos para una crítica a "Deducing consequences of evolution: A mathematical model" de Mary B. Williams.....	78
CAPITULO 3: RECONSTRUCCION LOGICA DE LA HIDRODINAMICA .	88
3.1. Notas sobre la historia de la hidrodinámica.....	89
3.2. Hidrodinámica e infinitesimales.....	93
3.3. La teoría elegida.....	107
3.4. La reconstrucción de la hidrodinámica de fluidos ideales.....	114
CONCLUSION.....	122
BIBLIOGRAFIA.....	123

INTRODUCCION GENERAL

La que aquí se expone es la primera reconstrucción lógica de la hidrodinámica, la cual revela claramente la estructura profunda de esta teoría, poco analizada por los filósofos y los lógicos.

Esta reconstrucción se inscribe dentro de una larga y exitosa tradición de reconstrucción de teorías dentro de la filosofía de la ciencia del siglo XX. A esta tradición se hace referencia cuando se alude a los positivistas lógicos, a Carnap, a Bunge, a Suppes, a Sneed, etc. La discusión del trabajo de Mary Williams sobre los fundamentos de la teoría de la evolución, es, propiamente, el punto que marca el inicio de lo más relevante de la tesis, como ejemplo sencillo de la axiomatización de una teoría empírica. La discusión nos permite asomarnos a la forma en que se desarrolla una labor metacientífica y a las dificultades que ésta presenta.

Al intentar reconstruir la hidrodinámica se nos enfrentaron diversos problemas históricos, ontológicos, científicos, y, especialmente, filosóficos y metodológicos, como demuestran los diversos apartados del trabajo.

A continuación presentamos una versión sucinta del contenido de la tesis.

El objetivo del PRIMER capítulo es hacer una presentación del grupo filosófico que se generó alrededor del Círculo de Viena. En particular se considera el tema de la concepción de las teorías científicas aludiendo a las ideas de un antecesor del Círculo como es E. Mach y a los planteamientos de los propios miembros del Círculo (especialmente los de Rudolf Carnap). Este tema es el único relevante a los fines de mi tesis, por eso las demás ideas del Círculo son apenas esbozadas.

En el punto 1 se incluye una breve nota histórica en donde se menciona el manifiesto titulado "El punto de vista científico, El Círculo de Viena", en el cual los miembros del Círculo nos indican su propósito de unificar la ciencia, haciendo uso del método lógico de análisis que habían desarrollado Peano, Frege, Whitehead y Russell y retrotrayendo los conceptos y enunciados de la ciencia a lo dado en la experiencia directa.

Según el punto 2, los positivistas lógicos (abreviadamente PL) concebirían a la filosofía como un método que contribuye a eliminar oscuridades de la ciencia. La filosofía sería una lógica de la ciencia, un análisis lógico de los enunciados y de los términos científicos. En consonancia con este punto de vista, los PL buscan elaborar un criterio que delimite a las proposiciones con sentido excluyendo así a las proposiciones sin sentido como las de la metafísica.

(cf. punto 3). Dos son las clases de proposiciones que considerarán significativas los PL: las primeras son las formales como las de la lógica o las de la matemática pura y las segundas son las fácticas, esto es, las susceptibles de comprobación empírica. De esta manera vemos que el significado de una proposición está ligado a su método de verificación (cf. punto 4). Habrá una verificación empírica cuando haya concordancia con las observaciones empíricas y una verificación lógica cuando se deriven de las leyes de la lógica. Por su parte, las proposiciones de la metafísica no son ni verdaderas ni falsas, no pueden verificarse y, por eso, ellas sólo sirven para expresar una actitud emotiva; constituyen una forma de arte o de poesía, pero no aumentan el conocimiento científico.

El punto 5 nos describe uno de los anhelos más caros al positivismo lógico el cual es el logro de la unificación de la ciencia. Los PL coinciden en la afirmación de que el origen, las bases y el contenido del conocimiento estaban constituidos por las percepciones sensoriales. Estas percepciones son descritas por los enunciados protocolares. El lenguaje fisicalista, al que puede traducirse el protocolar, podría adoptarse como lenguaje del sistema de la ciencia y con ello la totalidad de la ciencia se transformaría en física consiguiéndose así la integración de los diferentes campos de la ciencia a una Ciencia Unificada. Más adelante, Carnap introduce un cambio de nombre a la tesis ya que la unificación no se lleve a cabo con los conceptos del sistema de la física sino más bien con referen

cia a las propiedades y relaciones observables de las cosas. Entonces la llamó "Tesis de la reducibilidad del lenguaje científico al lenguaje-cosa" queriendo dar a entender que todos los enunciados de todas las ciencias particulares pueden reducirse, en última instancia, a enunciados sobre estados o procesos del mundo material.

En cuanto al criterio de verificación de los enunciados, se señala en el punto 6 que éste fue liberalizándose progresivamente. Al principio sólo se le confería significado empírico a un enunciado si éste no era analítico y si se deducía de una clase finita y lógicamente consistente de enunciados observacionales. Sin embargo, esta formulación presuponia una incorregibilidad de los enunciados básicos. Una propuesta alternativa la da Popper cuando declara que un enunciado es significativo si es falsable. Pero esta formulación elimina algunos enunciados científicos importantes. Reichenbach, por su lado, propone aceptar como significativo a un enunciado si es posible medir su grado de confirmación. Basándose en algunos señalamientos de Reichenbach, Carnap da más tarde un criterio muy elástico llamado "de confirmabilidad". Un enunciado es confirmable si se sabe cuáles son los sucesos que permitan corroborarlo o rechazarlo.

El punto 7 se refiere a la concepción de las teorías científicas de los PL. Se toman en cuenta los planteamientos de E. Mach relativos a este tema (cf. punto 1) considerándolos como un antecedente importante de las ideas del positivismo lógico a este respecto. Según este autor, los elementos en que puede dividirse al mundo mate-

rial son las sensaciones y la ciencia será el estudio de las conexiones y vinculaciones entre estos elementos. Los PL heredaron la idea de Mach de que todas las ciencias describen "experiencias", las que constituyen la base firme de la ciencia empírica. Carnap, por ejemplo, quiere construir un árbol lógico basado en "lo dado". Así surge un esquema de dos niveles para describir a la ciencia empírica: el primero es abstracto, corresponde al cálculo lógico, a los símbolos primitivos, y en él se suministran los axiomas y postulados; el segundo incluye un cierto conjunto de reglas que se llaman "definiciones coordinativas" o "interpretaciones empíricas" que relacionan el contenido empírico con el cálculo lógico y el conjunto de primitivas.

Llamaremos positivistas lógicos iniciales (PLi) al grupo de filósofos que intenta unificar la ciencia en un único sistema lógico (siguiendo el programa logicista) y de dar una base única al sistema, grupo que se desintegrará en los años 30. A los PLi corresponde el lenguaje fenomenalista y la fe en el programa de reducción de la matemática a la lógica. Denominaremos PL finales (PLf) a los continuadores de los PLi. Los PLf usaron el lenguaje fisicalista y siguieron el programa metamatemático de Hilbert, construyendo sistemas lógicos para cada teoría científica particular y, por consiguiente, dando a cada sistema su propia base axiomática. Los PLf efectuaban una división absoluta entre el nivel observacional y el nivel tórico del lenguaje científico, estableciendo así una base observacional única para todos los sistemas axiomáticos. Por lo tanto, todavía

segúan buscando una base inconvencible para la ciencia también con un programa reduccionista aunque más "liberal" que el anterior.

El SEGUNDO capítulo se inicia con una evaluación tradicional de la concepción de las teorías empíricas del PL, según la cual, las teorías empíricas son conjuntos de enunciados relacionados lógicamente a los que se puede presentar (con ayuda de la lógica de primer orden para predicados) en la forma de un sistema axiomático. De esta manera "teoría empírica" es equivalente a "sistema hipotético-deductivo" en donde se clasifican a las proposiciones en axiomas y teoremas y se dan reglas que permiten derivar unas proposiciones de otras proposiciones. Además, los enunciados de la teoría están constituidos por términos teóricos y observacionales, los cuales están incluidos en un determinado lenguaje provisto de significado empírico, ya que cada término es o bien observacional o bien se deriva de los observacionales a través de reglas de correspondencia. En el punto 1.4 se deja planteado el problema de la inclusión de los elementos intuitivos en el formalismo, al que se enfrentan como a un desafío científicos y filósofos por igual.

En el punto 2 se entra de lleno al problema de la reconstrucción lógica de las teorías empíricas. En 2.1, se sintetiza la propuesta de R. Carnap quien le añade al requisito de axiomatización, el de la formalización del lenguaje a fin de controlar la derivación de teoremas de una manera precisa y de representar los axiomas de una manera muy controlada. Las ideas de Carnap se inscriben en toda la tradición del PL.

Luego se presenta una descripción de la forma en que Carnap suministra una interpretación empírica al sistema axiomático.

En 2.2. se presentan las ideas de P. Suppes. Suppes critica por esquemática a la división que los PL hacen de las teorías en una parte de cálculo lógico y otra de interpretaciones empíricas. El uso de la lógica de primer orden para axiomatizar teorías le parece demasiado engorroso en muchos casos.

Las interpretaciones empíricas o definiciones coordinativas le parecen simplificadoras de la relación entre teoría y experimento y muy lejanas a la práctica real del científico.

Además, Suppes hace una defensa del concepto de modelo por su utilidad en filosofía de la ciencia y reclama que el reconocimiento de la jerarquización de teorías para la metodología de corroboración conduce a un programa que permitirá relacionar los modelos de los experimentos con los modelos de las teorías.

El tipo de axiomatización que Suppes prefiere, utilizando la teoría de conjuntos, y su relativa despreocupación por la relación entre las teorías y los elementos extrateóricos, permiten afirmar que el planteamiento de Suppes conduce a la integración de las teorías de la física matemática al programa Bourbaki.

Suppes intenta ocuparse de las teorías empíricas a través del desarrollo de teorías realistas de la medición.

Al evaluar el planteo de Suppes señalamos que su método para axiomatizar por medio de la introducción de un predicado conjuntista es más simple que el de Carnap aunque equivalente. La axiomatización a la Suppes nos permite comprender más rápido que una teoría tiene muchos modelos (PLURIMODELISMO) y hace explícitos los axiomas estructurales que en Carnap sólo están implícitos. Sin embargo, su concepto de teoría sólo sería parcial: sólo incluye a los modelos y a los modelos potenciales.

En 2.3. se esboza el programa de J.D. Sneed de reconstrucción de teorías físicas particulares. Este programa pretende evitar los problemas de ciertos métodos tradicionales de la filosofía de la ciencia que tendían a simplificar en demasía a la realidad de las teorías y a crear metodologías generales, aplicables a todo tipo de teorías científicas sin tomar en cuenta su especificidad.

La metateoría de Sneed se caracteriza por ser una aproximación modelo-teórica que usa una teoría intuitiva de conjuntos para concebir a los modelos. Sneed se opone a la concepción enunciativista, según la cual, las teorías son conjuntos de enunciados cuyas relaciones lógicas pueden exhibirse en sistemas axiomáticos que se obtienen usando el cálculo de predicados de primer orden. El considera que las unidades básicas de las teorías son los modelos, que, empíricamente interpretados, satisfacen a un predicado conjuntista. Estos modelos contienen un dominio de individuos y ciertas funciones definidas en ese dominio que "describen" a esos individuos.

Los modelos serán los sistemas de objetos que satisfagan el predicado conjuntista el cual incluye a los conceptos primitivos con sus características y la ley fundamental de la teoría. Todas las leyes especiales se introducirán como restricciones de este predicado primario, razón por la cual será llamado ley fundamental de la teoría.

Sneed enriquece el concepto de teoría empírica de Suppes con elementos adicionales como son, por ejemplo, las condiciones de ligadura, la distinción entre términos teóricos y no teóricos, el dominio de las aplicaciones intencionales (la mención de este dominio ya se puede encontrar en los trabajos de otros filósofos).

En el punto 3 incluimos, a modo de ejemplo, una crítica a ciertos tratamientos axiomáticos de Mary B. Williams vinculados con la teoría de la evolución en la que constataremos algunas insuficiencias envueltas en una axiomatización estándar de una teoría empírica.

El capítulo que acabamos de reseñar sirve para fundamentar nuestra elección de la concepción estructural como la metateoría más adecuada. Con esta herramienta efectuamos en el capítulo TERCERO la reconstrucción de la hidrodinámica de fluidos ideales. Esta reconstrucción se va a apoyar en tres tipos de análisis principalmente: los históricos, los ontológicos y los referidos a los libros de texto en los cuales se expone la hidrodinámica. Consideramos de fundamental importancia al tercero de estos análisis

aunque es comúnmente ignorado por los filósofos de la ciencia. Sin este análisis creemos que la reflexión metacientífica se realiza sobre un fundamento muy endeble.

Las notas históricas (cf. 3.1.) tienen dos fines primordiales: ejemplificar con la historia de la hidrodinámica el problema de la escisión planteado en 2.1.3.e) y suministrar una respuesta a la pregunta ontológica "¿de qué nos habla la hidrodinámica?".

Al segundo objetivo apunta también el párrafo 3.2. que esclarece ciertas contradicciones presentes en las exposiciones de la hidrodinámica que se empujan actualmente en los estudios universitarios. Este estudio de las diversas exposiciones de la hidrodinámica prosigue en el párrafo 3.3. en donde se precisa la teoría a reconstruir, a la que hemos denominado: Hidrodinámica de Fluidos Ideales. Esta especificación de la teoría es importante no sólo a los fines de mi reconstrucción sino también para la realización de un trabajo anatómico de la ciencia muy amplio.

Finalmente se expone la reconstrucción lógica de la Hidrodinámica de Fluidos Ideales, la cual es la primera que se realiza dentro de programa general de reconstrucción de teorías empíricas.

SIMBOLOS LOGICOS Y MATEMATICOS USADOS EN LA TESIS

(En su gran mayoría concuerdan con los presentados en Moulines 1982, p.23)

Lógicos: si p es un enunciado cualquiera, $\neg p$ es su negación; \wedge indica la conjunción de enunciados, \vee la disyunción, \rightarrow el condicional y \leftrightarrow el bicondicional.

$\forall x$ es el cuantificador universal y $\exists x$ el cuantificador existencial.

De la teoría de conjuntos: Utilizaremos los términos "conjunto" y "clase" como sinónimos.

" $a \in A$ " significa "a es elemento del (o pertenece al) conjunto A".

$\{a, b, c, \dots\}$ indica el conjunto consistente en los elementos a, b, c, ...

\emptyset es el conjunto vacío.

Si A y B son dos conjuntos, $A \cup B$ es su unión, $A \cap B$ su intersección y $A - B$ su diferencia.

$A \subseteq B$ indica que A es un subconjunto de B.

$A \subset B$ indica que A es un subconjunto propio de B; es decir, que A es subconjunto de B, pero no a la inversa.

Si A es un conjunto, $\mathcal{D}(A)$ es el conjunto potencia de A; es decir, el conjunto de todos los subconjuntos de A.

$\langle a, b \rangle$ es el par ordenado de los elementos a y b. $\langle a_1, \dots, a_n \rangle$ es el tuplo ordenado o secuencia de los n elementos a_1, \dots, a_n .

Si A y B son dos conjuntos (iguales o distintos), $A \times B$ indica su producto cartesiano, es decir, el conjunto de todos los pares or-

denados $\langle a_i, b_i \rangle$ tales que $a_i \in A$ y $b_i \in B$. Si A_1, \dots, A_n son n conjuntos (iguales o distintos), $A_1 \times \dots \times A_n$ indica el producto cartesiano de los mismos; es decir, el conjunto de todos los n -tuplos $\langle a_1, \dots, a_n \rangle$ con $a_i \in A_i$. En el caso de que todos los n A_i sean iguales, escribiremos para abreviar A^n en vez de $A \times \dots \times A$ n veces. Si R es una relación diádica, entonces $D_I(R)$ indica su dominio (el conjunto de los primeros términos de la relación) y $D_{II}(R)$ su contradominio o recorrido (el conjunto de los segundos términos). Lo mismo vale, naturalmente, para las funciones que, como es sabido, se pueden considerar como casos particulares de relaciones. Si f es una función, A su dominio y B su contradominio, a menudo lo indicaremos así: $f: A \rightarrow B$.

Del cálculo: \mathbb{N} indica el conjunto de los números naturales, \mathbb{R} el conjunto de los números reales, \mathbb{R}^+ el conjunto de los números reales positivos, \mathbb{R}^3 el espacio euclídeo tridimensional. A los elementos de \mathbb{R}^3 (que son triplos de números reales) los llamamos "vectores". Si $\vec{r} = \langle x, y, z \rangle$ es un vector, $|\vec{r}|$ es su magnitud, o sea, $|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

Si f es una función monádica real diferenciable, Df representará la derivada correspondiente. Si f es una función de n argumentos, $f(a_1, \dots, a_n)$, y es diferenciable en cada uno de ellos, entonces $D_{a_i} f$ representa la derivada parcial de f con respecto al argumento a_i .

Sea $f: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$ una función escalar diferenciable de vectores de-

finidos en un sistema rectangular de coordenadas espaciales, que denotaremos por x, y, z , según es habitual. Sean $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$, los tres vectores unitarios que determinan el sistema de coordenadas. Podemos tomar derivadas parciales de f con respecto a cada una de las coordenadas $D_x f(x, y, z), D_y f(x, y, z), D_z f(x, y, z)$. Si a cada uno de estos valores (escalares) lo multiplicamos por el vector unitario correspondiente obtenemos los vectores $D_x f(x, y, z)\bar{i}, D_y f(x, y, z)\bar{j}, D_z f(x, y, z)\bar{k}$ en cada una de las direcciones espaciales correspondientes. La suma vectorial de los tres vectores que mencionamos es un vector, cuya dirección, según se puede mostrar, es la misma que aquella en que f varía más. A este vector se le puede considerar como el resultado de aplicar un operador diferencial general $D_x \bar{i} + D_y \bar{j} + D_z \bar{k}$ a la función escalar f ; el resultado es un vector que indica en qué dirección varía más f y cuál es la magnitud de dicha variación. A este operador se le llama gradiente y lo abreviamos por "grad":

$$\begin{aligned} \text{grad } f(x, y, z) &= (D_x \bar{i} + D_y \bar{j} + D_z \bar{k})f(x, y, z) \\ &= D_x f(x, y, z)\bar{i} + D_y f(x, y, z)\bar{j} + D_z f(x, y, z)\bar{k} \end{aligned}$$

Nótese que grad es formalmente una expresión abierta (incompleta) del mismo tipo que una derivada normal D .

Sean \bar{a} y \bar{b} dos vectores, siendo $\bar{a} = \langle a_1, \dots, a_n \rangle$ y $\bar{b} = \langle b_1, \dots, b_n \rangle$

$\bar{a} \odot \bar{b} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_n b_n$ es el producto escalar entre ellos.

CAPITULO I :

EL POSITIVISMO LOGICO COMO ANTECEDENTE HISTORICO
DE LOS PROGRAMAS DE RECONSTRUCCION LOGICA DE
TEORIAS EMPIRICAS.

1.1. Los orígenes del positivismo lógico

La Universidad de Viena inauguró una cátedra de filosofía de las ciencias inductivas en 1895. El primero que la ocupó fue E. Mach, quien formaba parte de la corriente denominada positivismo crítico alemán, antecesora del positivismo lógico. Examinemos brevemente algunas de las ideas de Mach.

Para Mach las teorías científicas usan analogías que sustituyen a las descripciones de los fenómenos en términos de sensaciones. Así la "materia" es un símbolo que corresponde a un "complejo relativamente estable de elementos sensibles" (Mach, 1925, p.275). De los átomos y moléculas de la física y la química dice que son una "artificial hipótesis". El valor de estos conceptos es el de ser una expresión económica de la experiencia físico-química.

En ciencia empírica debemos, según Mach, ser muy cuidadosos en el empleo de tales símbolos ya que son muy distintos a los símbolos del álgebra. Los símbolos de la ciencia empírica, como los átomos, permiten hacer alusión a ciertos complejos específicos de elementos sensibles que es posible hallar en las investigaciones físicas y químicas.

De acuerdo con Mach, los resultados parciales de la ciencia pueden integrarse en una ciencia única. Para lograr esto debe usarse un único sistema de conceptos. Las sensaciones serán los elementos en que se divide todo el mundo material y la ciencia será el estudio de las conexiones y vinculaciones entre estos elementos. Los hechos sen

sibles, en cuanto son reproducidos por nuestro pensamiento, agotan las necesidades prácticas e intelectuales del hombre. El fin de la física es lograr esta reproducción. Por su parte, las leyes, las fuerzas, los átomos, son sólo recursos que hacen más sencilla la reproducción. Estos recursos auxiliares que incluyen a la matemática ayudan a combinar las percepciones y contribuyen a que nuestro pensamiento las entienda. No obstante ello, no hay que olvidar que su único fin es facilitar una representación total del hecho sensible.

La ciencia tiene como meta la adaptación de los conceptos a la experiencia. No es más que una continuadora de un trabajo que realizamos diariamente sin darnos cuenta. Frente a cada hecho nuevo vamos constantemente adaptando nuestros juicios. Compatibilizamos nuestros recuerdos con las nuevas representaciones. Las generalizaciones se obtienen cuando se produce un reforzamiento de los elementos comunes a dos representaciones sensibles:

De un modo análogo procede el físico cuando dice generalizando: "Todos los cuerpos sólidos transparentes desvían el rayo de luz que cae sobre ellos" (Mach, 1925, p.282).

La investigación nace cuando surge un hecho que perturba las generalizaciones, lo esperado. Así ocurre, por ejemplo, cuando con una palanca y con poca fuerza logramos levantar un peso grande. Cuando vemos que ello depende de una relación entre el peso y el brazo de la palanca habremos resuelto el problema, cuya solución, al transformarse en habitual, hace desaparecer la dificultad.

El proceso de aprendizaje es un ejemplo de que los hechos aisla-

dos son necesarios para comprender las abstracciones superiores. Sin práctica no pueden adquirirse conocimientos físicos, químicos o matemáticos avanzados.

Volvamos al ejemplo de la palanca. Multiplicando peso por braze, nos damos cuenta de que la posición de equilibrio corresponde a la igualdad de los dos productos que se obtienen (uno en cada mitad). Pero el resultado cuantitativo ha funcionado sólo como puente que nos lleva otra vez al elemento sensible. De manera tal que la teoría ha servido como una herramienta que nos suministra relaciones cuantitativas pero no una "imagen" de la realidad. Decir esto último sería hablar metafísicamente. Al abstraer, el científico se aleja de ciertos hechos sensibles pero con el fin de llegar a otros hechos sensibles. La teoría tiene como meta el logro de resultados cuantitativos ya que no puede decirnos otra cosa de los fenómenos que aquéllo que nosotros mismos experimentamos. Los términos o entidades teóricas son sólo artificios económicos provisionales que nos ayudan a predecir. Las teorías no son más que "modelos matemáticos" que ayudan a organizar la representación mental de los hechos.

Las hipótesis y la especulación científica son generadas cuando no se puede inferir un nuevo hecho y, en ese caso, "...los pensamientos más poderosos y familiares se agolpan para configurar a aquél / el nuevo hecho / de una manera más rica y determinada" (Mach, 1925, p.289). Es así como nos imaginamos que los planetas son cuerpos arrojados al espacio, que la electricidad es un fluido que tiene e -

fectos a distancia, etc. y estos nuevos hechos pasan a formar parte de una "intuición no inmediata" y se constituyen aplicando de la mejor manera posible el principio de continuidad (que es el que permite reforzar los elementos comunes a diferentes representaciones sensibles) y el de diferenciación suficiente (el que permite ver las diferencias).

Creo que a partir de lo expuesto puede afirmarse que la posición de Mach es instrumentalista ya que sostiene que la función de la teoría científica es la de conformar principios materiales de inferencia que permitan vincular distintos conjuntos de hechos. Es a consecuencia de lo anterior que Mach acentúa la importancia de la predicción en ciencia, esto es, la inferencia de un conjunto de hechos a partir de otro. Estas ideas lo conducen a minimizar la relevancia de la explicación.

Otro corolario de la postura de Mach es la desaparición del misticismo ya que, según este autor, el oficio economizador de la ciencia es evidente a simple vista. La ciencia reconstruye multitud de hechos en una sola expresión, eligiendo una característica común a los mismos. Nadie puede decir que esto es metafísica. No es que en la naturaleza existan leyes (por ejemplo: la ley de la refracción), lo que existen son casos similares (por ejemplo: diferentes casos de refracción). La matemática también es una ciencia económica, es la ciencia de la economía para contar. (cf. Mach, 1960, p.583).

En resumen, la idea de Mach es que la ciencia es una realidad ar

tificial y que a lo largo de la historia tiende a una combinación progresiva y cada vez más económica de símbolos.

M. Schlick ocupó en 1922 la cátedra inaugurada por Mach, organizando un grupo de discusión que funcionaba todos los jueves. Es de destacar que la mayoría de los integrantes no eran filósofos de carrera ya que sus estudios iniciales se situaban en otros campos del saber. El mismo Schlick hizo su tesis doctoral sobre un tema de óptica --la reflexión de la luz en medios no homogéneos-- bajo la dirección de Max Planck. Otros participantes eran: Víctor Kraft (historiador), Hans Hahn y Kurt Reidemeister (matemáticos), Otto Neurath (sociólogo), Félix Kaufmann (abogado). A veces asistían: Philipp Frank (físico), E. Kaila (sicólogo y filósofo finlandés), K. Gödel y K. Menger (ocupados en temas científicos y matemáticos). M. Schlick y su destacado alumno F. Waismann se mantenían en contacto con L. Wittgenstein autor del Tractatus obra que era el tema de discusión de muchas de las reuniones filosóficas. Wittgenstein no participaba en las reuniones ya que estaba preocupado por la arquitectura. R. Carnap contribuyó a partir de 1926 a incentivar las reuniones cuando fue invitado a la Universidad de Viena. En ese mismo año fue cuando se comenzó a discutir el Tractatus.

A partir de 1928 se organizaron bajo el nombre de "Verein Ernst Mach" /Sociedad Ernst Mach/, publicando pequeñas monografías tituladas "Veröffentlichungen des Vereines Ernst Mach".

En 1929 vio la luz un manifiesto titulado "Wissenschaftliche

Weltauffassung, Der Wiener Kreis" /El punto de vista científico, El Círculo de Viena/. El Manifiesto señalaba que el objetivo del Círculo era lograr una ciencia unificada, haciendo uso del método lógico de análisis que habían desarrollado Peano, Frege, Whitehead y Russell, eliminando al mismo tiempo los problemas y los enunciados metafísicos y retrotrayendo los conceptos y enunciados de la ciencia a lo dado en la experiencia directa. Lo escribieron Carnap, Hahn y Neurath.

Con la publicación del Manifiesto, el Círculo de Viena comienza a funcionar formalmente. El grupo asociado al Círculo está constituido por los llamados PL. En Setiembre de 1930 toma lugar en Königsberg un congreso internacional sobre epistemología de las ciencias exactas a instancias del Círculo.

A partir de la década del 30 se inicia la disolución del Círculo y se produce la diáspora de sus miembros y simpatizantes. A pesar de ello, se continuaron haciendo publicaciones, congresos y otras actividades. Carnap y Reichenbach se encargaron de la publicación periódica "Annalen der Philosophie" a la que llamaron "Erkenntnis" la que se editó desde 1930 a 1939. También se publicó "The Journal of Unified Science" entre 1939 y 1950. Por otra parte, en la Universidad de Chicago, Carnap logró organizar la edición de la International Encyclopedia of Unified Science.

1.2. Los positivistas lógicos y la filosofía

El positivismo lógico se incluye dentro del movimiento conocido con el nombre de filosofía analítica. Este movimiento se integra con todos los que piensan que no existe tarea más indicada para la filosofía que la de analizar el lenguaje.

Los analíticos observan el enorme retraso de la filosofía frente a las otras ramas del conocimiento y desean contar con un método que les permita superar este rezago. Es por ello que, sin definir en principio, hasta donde se extiende la filosofía, proponen partir del análisis del significado de los términos tanto cotidianos como científicos.

En particular, los PL ven que hay un divorcio entre ciencia y filosofía. Es más, los filósofos idealistas alemanes se destacaban por su hostilidad hacia la ciencia, ya que sostenían que a la verdad sólo se accedía por caminos supracientíficos. A este respecto Schlick señala que esta actitud puede dilucidarse históricamente. En tiempos antiguos la filosofía y la ciencia se confundían pero luego las ciencias particulares se emanciparon de la filosofía que era su madre común y ello se debió a que "...ciertos conceptos fundamentales se habían esclarecido lo bastante para que fuese posible un fecundo trabajo ulterior con ellos"(Ayer, 1965, p.63). Hay otras ciencias que todavía no se separan de la filosofía como la ética, la estética, y a veces, la psicología y "...esto resulta un signo de que esas disciplinas aún no disponen de conceptos básicos suficientemente claros,

de que sus esfuerzos se dirigen aún, principalmente, a precisar el sentido de sus enunciados (Ayer 1965, p.63)". Para Schlick, el investigador científico se convierte en filósofo cuando se ocupa de aclarar conceptos y proposiciones fundamentales de la ciencia. Según Schlick y los PL, existe necesidad de desarrollar un método científico para la filosofía. La filosofía no es una ciencia sino un método que contribuye a eliminar oscuridades de la ciencia empírica. Según el PL, la filosofía, tal como se la entendía tradicionalmente, no tiene sentido ya que no existen los objetos de conocimiento no empíricos o trascendentales. La filosofía debe ser un sistema de actos y no de conocimientos. Es así como Schlick define a la filosofía como

La actividad mediante la cual se descubre o se determina el sentido de los enunciados. Por medio de la filosofía se aclaran las proposiciones, por medio de la ciencia se verifican. A esta última le interesa la verdad de los enunciados, a la primera le que realmente significan... (Ayer 1965, p.62).

Metizando la concepción de Schlick, Carnap afirma que la filosofía es una lógica de la ciencia. De acuerdo con Carnap, el nuevo método científico del filosofar consiste en el

...análisis lógico de las proposiciones y conceptos de la ciencia empírica (Ayer 1965, p.139).

Contrariamente a la filosofía tradicional, el método de la nueva filosofía tendrá que estar íntimamente ligado a la ciencia empírica y este método del filosofar no es otro que la lógica para Carnap. Esta lógica tendrá dos ramas: la lógica pura y la lógi

como teoría del conocimiento. La antigua lógica permitía la existencia de una poesía conceptual metafísica. La nueva lógica surge como respuesta a ciertos problemas de los fundamentos de la matemática, por ejemplo, el de la aclaración del concepto mismo de número. Con lo estipulado en este párrafo concordaría plenamente G. Ryle cuando afirma que el hombre de ciencia que se plantea problemas metodológicos es el mejor filósofo y el mejor científico:

Las mejores teorías filosóficas de las matemáticas las han realizado matemáticos que se vieron obligados a resolver enigmas internos acerca de los principios de su materia, ejercicio filosófico que a veces condujo a la creación de nuevos métodos matemáticos y, con frecuencia, a la de esclarecedoras opiniones filosóficas. Todo hombre de genio es un inventor de métodos nuevos y, por lo tanto, tiene que ser una especie de crítico de los principios metodológicos (Ayer 1965, p.332).

1.3. La determinación de las proposiciones significativas

El primer paso que deben dar los PL para llevar adelante su programa filosófico es el de elaborar un criterio de demarcación entre las proposiciones con sentido y las de la metafísica. De este paso ya pueden hallarse antecedentes en Hume quien, en su momento, tenía planes muy precisos acerca de la forma en que debían reorganizarse las bibliotecas, tal como se desprende del siguiente párrafo:

Cuando persuadidos de estos principios recorremos las bibliotecas, ¿qué estragos deberíamos hacer! Tenemos en nuestra mano, por ejemplo, un volumen cualquiera de teología o de metafísica escolástica y preguntémosnos: ¿Contiene algún razonamiento abstracto acerca de la cantidad y el número? ¿No? ¿Contiene algún razonamiento experimental acerca de los hechos y las cosas existentes? ¿Tampoco? Pues entonces arrojémoslo a la hoguera, por-

que no puede contener otra cosa que sofismas y engaño.
(citado en Ayer 1965, p.15 y en Carnap 1963, p.22).

Los PL, a diferencia de Hume, contaban con las herramientas que les proveía el simbolismo lógico desarrollado por Frege, Peano y Russell. Sin embargo, seguirían concordando con Hume en que sólo hay dos clases de proposiciones significativas: las primeras son las formales como las de la lógica o la matemática pura. Y las segundas son las fácticas, esto es, las susceptibles de comprobación empírica. Las proposiciones del primer tipo son válidas con independencia de la experimentación y ello ocurre porque son proposiciones analíticas y no porque revelen una constitución natural necesaria. Es debido a esto que los PL nunca afirmarán la existencia de juicios sintéticos a priori. No hay juicios válidos que sean simultáneamente independientes de la experiencia y descripciones de fenómenos naturales.

Puede añadirse que esas dos clases de proposiciones incluyen a todas las proposiciones que pueden formularse con sentido. Fuera de ellas sólo hay proposiciones con una significación emotiva o con un sentido poético, como por ejemplo, las proposiciones de la metafísica. Esta última se equivoca si cree que está proporcionando enunciados cognoscitivos. Sus enunciados no pueden contribuir al incremento del conocimiento ya que no son ni verdaderos ni falsos.

Los PL no quieren poner delante de la metafísica a los límites del conocimiento sino a los límites de las proposiciones po-

sibles. Esto se vincula con la tesis (7) del Tractatus que dice: "De lo que no se puede hablar hay que mantener silencio" o con el aforismo del mismo autor: "Los límites de mi lenguaje son los límites de mi mundo"(citado en Kolakowski 1968, p.210).¹

1.4. El análisis semántico de los PL

Dar el significado de un signo es determinar la relación entre el signo y lo designado de manera tal que el signo represente lo designado. Por lo tanto, para poder suministrar un signo debemos estar en condiciones de identificar al objeto.

¹ En cuanto a la influencia de Wittgenstein sobre el Círculo de Viena podemos señalar lo siguiente. Tal como repetidas veces lo hizo notar M.Schlick, el Tractatus fue muy discutido en el Círculo y muchas de sus ideas tuvieron grande influencia en el desarrollo del PL. Una de estas ideas es la que dice que las verdades lógicas son tautologías sin contenido empírico (sin sentido pero no absurdos), y que, en consecuencia, el conocimiento a priori no existe (sea éste de hechos o de cosas). Estos planteamientos sirvieron de base a la doble división de enunciados con sentido que hace el PL.

Otra de las ideas del Tractatus que se relaciona con el punto 1.2.de esta tesis, es que la filosofía no está conformada por un conjunto de enunciados que, a su vez, constituyen una doctrina, sino que es una actividad que permite clarificar los pensamientos.

Por otro lado, la doctrina del Círculo concerniente a la reducibilidad de los enunciados a lo dado, no está en el Tractatus. Lo que sí está es la aserción 4.024 que expresa: "entender una proposición significa saber en qué caso es verdadera", la cual, puede conectarse con el principio de verificación que sostiene que el significado de un enunciado es su método de verificación. No obstante ello, es aventurado afirmar que Wittgenstein tuviera en mente exactamente lo mismo que el Pl en la 4.024 y viendo el contexto podría decirse que no. (Ya que sigue hablando de que una proposición se entiende cuando se entienden sus constituyentes, esto es, si se comprenden las palabras de una oración, se comprende la oración. No menciona nada que se relacione con la verificación.).

Para dar el significado de una palabra la definimos en términos de otras palabras que puedan reemplazar a la primera. Este proceso se puede repetir hasta llegar a los conceptos primitivos (de otra manera sería circular). El significado de estos conceptos se da en la misma forma en que se le enseñan a los niños palabras nuevas, esto es, señalando el designado, al objeto al que corresponde el concepto.

Este método tiene dificultades, principalmente, cuando nos enfrentamos a palabras como "rojo" o "frío" y es todavía más difícil con palabras como "a causa de" o "de prisa" ya que para explicarlas se requiere de la presentación de las situaciones en que aparecen. En ciencia hay casos aún más complejos. Por ejemplo, cuando Einstein desea dar a entender lo que es la "colocalidad" nos debe indicar la "gramática" de la palabra (para decirlo en términos de Wittgenstein). Así Einstein nos diría: supongamos que construimos un obelisco en los terrenos de la UNAM. Podemos decir que la punta del obelisco es un "punto" del espacio físico. Si a esta punta la iluminamos con ráfagas de luz, logramos obtener (de una manera aproximada) un suceso físico (que es un fenómeno físico puntual e instantáneo como, por ejemplo, el choque entre dos neutrones ya que ocurre "casi" en un punto y en un tiempo brevísimo). Si medimos el tiempo con un cronómetro y

producimos dos ráfagas de luz, obtenemos dos acontecimientos: el A cuando leo t_1 en el cronómetro y el B cuando leo t_2 . Estos acontecimientos (o sucesos) son "colocales" (esto es, ocurren en el mismo lugar) para un observador situado en los terrenos de la UNAM. Un astronauta en órbita alrededor de Marte no percibiría la colocalidad ya que la tierra se mueve y, estando el obelisco fijo a ella, habrá traslación del obelisco entre un suceso y otro. Y así podría continuar Einstein hablándonos de la "colocalidad" por largo tiempo (cf. Flematti 1981,).

De cualquier modo, en todos los casos anteriores, estamos en posibilidades de proporcionar las condiciones bajo las cuales la palabra es usada y se acepta como con sentido o sin sentido. Es por eso que se habla de dar el significado de una proposición a través de su método de verificación. Lo que se requiere es que la verificación sea posible aunque ésta no se realice efectivamente. Habrá una verificación empírica cuando haya concordancia con las leyes naturales y una verificación lógica cuando haya concordancia con las leyes de la lógica.

A modo de ejemplo consideremos la proposición "En el polo norte de Plutón hay un monte de hielo de doscientos metros de alto". Esta proposición no puede verificarse actualmente, pero no por ello no es significativa ya que es "posible" verificarla. Pero si decimos "La nada nada" no podemos ni siquiera imaginar cómo comprobar si es verdadera o falsa. Este es un enunciado que

contiene un pseudo concepto ya que se está usando "nada" como el nombre de una cosa y no como algo que indica la ausencia de otra. Para este último enunciado no hay posibilidades de especificar un método de verificación, por eso es un enunciado metafísico. Otro tipo de enunciados de la metafísica son los que yuxtaponen palabras con sentido pero contradiciendo reglas de la gramática lógica, como por ejemplo, "Javier es un número primo". Estos dos tipos de enunciados son llamados por Carnap "pseudo proposiciones metafísicas" (cf. Ayer 1965, p.75).

Carnap piensa que su análisis puede decepcionar a muchos seguidores de la metafísica, pero él los justifica diciendo que la metafísica sí tiene un contenido pero éste no es teórico ya que sus pseudoproposiciones no son ni verdaderas (esto es, no describen relaciones existentes) ni falsas (esto es, no describen relaciones inexistentes)

..ellas sirven para la expresión de una actitud emotiva ante la vida (Ayer 1965, p.85).

La metafísica es concebida por el PL como una forma de arte o de poesía que usa un lenguaje afectivo y que da expresiones de deseo. Lo que le da la ilusión de tener un contenido teórico a sus enunciados es su disposición como un sistema en que pueden deducirse unos de otros. Carnap describe irónicamente a los metafísicos en los siguientes términos:

Acaso la música resulte el medio de expresión más idóneo de esta actitud ante la vida, en vista de que se halla más fuerte ente liberada de cualquier referencia a los

objetos. El sentimiento armonioso de la vida que el metafísico trata de expresar en un sistema monista, se halla mejor expresado en la música de Mozart. Y cuando el metafísico declara su sentimiento heroico ante la vida en un sistema dualista ¿no lo hará tal vez porque le falta la capacidad de Beethoven para expresar dicho sentimiento por un medio adecuado? En verdad los metafísicos son músicos sin capacidad musical, en sustitución de lo cual tienen una marcada inclinación a trabajar en el campo de lo teórico, a conectar conceptos y pensamientos. Ahora bien, en lugar de utilizar esta inclinación por una parte en el campo de la ciencia y por la otra satisfacer su necesidad de expresión en el arte, el metafísico confunde ambas y crea una estructura que no logra nada en lo que toca al conocimiento y que es insuficiente como una actitud emotiva ante la vida (Ayer 1965, p.86).

1.5. El programa de unificación de la ciencia

Muchos pensadores buscaron llevar a cabo este programa antes que el PL. Entre ellos podemos mencionar a tres positivistas críticos alemanes que desarrollaron sus actividades principalmente en el último tercio del siglo XIX. En 1862 ⁽¹⁾ Helmholtz manifestaba su desazón ante la progresiva ramificación y especialización de la ciencia en una conferencia que impartió en Heidelberg titulada "Ueber das Verhältniß der Naturwissenschaften zur Gesamtheit der Wissenschaft"/"Sobre la relación de las ciencias naturales con la totalidad de la ciencia"/ (mencionada en Koulines 1975, p.41). La base común a todas las ciencias debía encontrarse haciendo investigaciones en la fisiología de los sentidos. Se requería del logro de tal unificación mediante la vinculación lógica de las distintas ciencias para la obtención de dos fines: uno al interior de la ciencia ("promover mejores resultados en la labor

(1) a saber, Helmholtz, Kirchhoff y Mach.

científica?) y otro más general ("mantener un equilibrio sano entre las fuerzas espirituales")(Citado en Moulines 1975, p.41).

Kirchhoff, buscando como Helmholtz la unificación de la ciencia, sienta las bases de un "reduccionismo cinemático", esto es, la corriente que afirma que los conceptos empíricos básicos de la mecánica deben ser los de espacio y tiempo (aunque él le agrega después el de materia). Mach, por su parte, eliminará este último primitivo definiéndolo en términos de las aceleraciones de dos cuerpos espacialmente cercanos. Mach señala que Newton definía a la masa como la cantidad de materia que hay en un determinado cuerpo. Sin embargo, esta definición no servía ya que era metafísica. Al hacer los cálculos Newton concebía la masa como el producto del volumen por la densidad. Pero a su vez, en aquel entonces, se concebía a la densidad como masa por unidad de volumen. Todo ello lleva entonces a una circularidad. Es necesaria una nueva definición de masa que no implique circularidades (cf. Mach 1960, p.237). Es en ese momento de la argumentación cuando Mach propone definir a la masa en términos de observaciones elementales de las aceleraciones de dos cuerpos. Lo que intenta Mach (desde una perspectiva netamente positivista) es reducir la mecánica a nociones susceptibles de observación directa como las de espacio y tiempo, estableciendo, simultáneamente, a la realidad física o psíquica como un conjunto de sensaciones:

El mundo consiste en nuestras sensaciones (Mach 1925, p.11).

nos dice Mach. Las cosas aparecen, para Mach, en forma de complejos relativamente constantes de "cualidades" a las cuales Mach identifica con las sensaciones y las denomina "elementos". Así, p/ej, dice:

No es que los cuerpos engendren sensaciones, sino que complejos de elementos (complejos de sensaciones) forman los cuerpos. Si al físico no se le aparecen los cuerpos como lo permanente, lo real y los "elementos", por el contrario, como su apariencia fugitiva y pasajera, es que no reflexiona que todos los cuerpos son sólo símbolos conceptuales para complejos de elementos (complejos de sensaciones). Los fundamentos últimos propios que persigue la investigación fisiológica-física son; a la vez, estos elementos (Mach 1925, p.26).

Mach se opone a toda costa al conocimiento a priori en mecánica sosteniendo que la base de todo conocimiento científico es la experiencia sensorial. Todos los conceptos de la mecánica deben derivarse, en última instancia, de la experiencia sensorial. Por eso remarca la imperiosa necesidad de realizar investigaciones filosóficas (y en ello repite a Helmholtz). Sus planteamientos no van dirigidos únicamente al caso de la física. Todas las ciencias deben ocuparse de estudiar las sensaciones y el modo en que éstas se relacionen. De todo lo planteado infiere Mach su afirmación central de que la ciencia es, fundamentalmente, una descripción de la experiencia.

El PL heredará esta tradición y usará como base empírica a ciertos enunciados primarios que describen hechos individuales (=percepciones sensoriales). Así cuando se creó el Círculo de Viena todos estaban de acuerdo con Mach en que el origen, las bases y el contenido del conocimiento lo constituían las percepciones sensoriales. Schlick, por ejemplo, manifiesta:

...el conocimiento de alguna manera principia con la comprobación de hechos y (...) en el principio de la ciencia se encuentran asimismo los "enunciados protocolares"

que traducen dicha comprobación (Ayer 1965, p.216).
 ...por "enunciados protocolares" se significó aquellas proposiciones que expresen los hechos con absoluta simplicidad, sin retoque, modificación ni añadidura alguna, en cuya elaboración consiste toda la ciencia, y que anteceden a todo conocimiento, a todo juicio referente al mundo (Ayer 1965, p.215).

Al principio se consideró a los enunciados protocolares como la descripción de hechos simples, sin ninguna interpretación de lo dado (cf. Kraft 1966, p.118). Así en el Aufbau (= Carnap 1967), Carnap propone una teoría de la constitución, es decir, la posibilidad de construir un sistema que permitiese reducir todos los conceptos científicos a una base común que es lo dado /das Gegebene/. Ello lo conduce a señalar lo siguiente en otro artículo:

Al analizar los conceptos de la ciencia, se ha demostrado que todos esos conceptos, pertenezcan, de acuerdo con la clasificación habitual, ya sea a las ciencias naturales, a la psicología o a las ciencias sociales, pueden ser referidos a una base común, puesto que pueden retrotraerse a conceptos radicales (básicos), que se refieren a "lo dado", es decir, a los contenidos inmediatos de la vivencia (Ayer 1965, p.149).

Mach ya había hecho notar la posibilidad de que tanto la física como la psicología, como las otras ciencias, describan "experiencias" y ello hace que tengan una base común y que, por consiguiente, toda la ciencia empírica sea fundamentalmente una:

No hay abismo alguno entre lo físico y lo psíquico, entre lo interior y lo exterior. No hay sensación a la cual correspondiera algo fuera de ella misma. Sólo hay una clase de elementos de la cual se compone este supuesto "fuera y dentro", que sólo es tal a la observación parcial (Mach 1925, p.274).

Posteriormente, Neurath propone una forma "objetiva" de los enun

ciados protocolares y sugiere una base empírica constituída por los conceptos físicos los cuales se vinculan a procesos espacio-temporales. Según Neurath, en los enunciados protocolares hay que incluir el nombre del observador, consideraciones de espacio y tiempo y el concepto de percepción. Un ejemplo de enunciado protocolar completo sería: "Protocolo de Javier a las 9 hs 20' : La forma lingüística del pensamiento de Javier a las 9 hs 20' era: (a las 9 hs 20' había en el salón un cuadro percibido por Javier) ." Puede observarse que un enunciado protocolar es un enunciado fáctico en donde el nombre de una persona aparece conectado de una manera particular con otros términos. También puede verse que si eliminamos paréntesis también obtenemos enunciados fácticos aunque no protocolares: "la forma lingüística del pensamiento de Javier a las 9hs 20' era: (a las 9hs 20' había en el salón un cuadro percibido por Javier)" y "a las 9 hs 20' había en el salón un cuadro percibido por Javier". La expresión "forma lingüística del pensamiento" sirve cuando se quieren distinguir distintos grupos de proposiciones. Por ejemplo, se está en capacidad de decir: "Javier ha tenido un pensamiento con la forma lingüística siguiente: 'en el salón sólo hay una fruta percibida por Javier' pero, a fin de divertirse, escribe: 'en el salón sólo hay un cuadro percibido por Javier'".

Neurath discrepa con Carnap en el punto en que este último sostiene que los enunciados protocolares son incorregibles. "

que no requieren confirmación"(cf. Ayer 1965,p.209). Para Neurath los enunciados protocolares tienen un contenido interpretativo y, por eso, son corregibles con el avance de la ciencia. Lo que hay que lograr en la ciencia unitaria es un sistema sin contradicciones. Si se nos presenta una nueva proposición vemos si está o no en contradicción con el sistema. Si sí lo está e la declaramos falsa, o modificamos nuestro sistema para que mantenga su no-contrariedad. Neurath pone el caso de una persona que escribe dos enunciados protocolares contradictorios uno con cada mano y al mismo tiempo. Lo que se sabe es que ambas proposiciones no pueden ser incluidas aunque no haya posibilidades de verificación en el sentido de Carnap. Es por ello que Neurath admite la posibilidad de enunciados protocolares que pueden eliminarse.

Neurath acusa a Carnap de querer introducir un protocolo atómico que no requiera verificación y, con ello, de caer en la creencia en las intuiciones o vivencias inmediatas de la filosofía tradicional que, sin actitud crítica, son aceptadas sin verificación. Por eso dice:

La ficción de un lenguaje ideal construido a partir de proposiciones atómicas puras es tan metafísica como la ficción del demonio en Laplace (Ayer 1965,p.205).

Carnap afirma que en el protocolo se incluyen los enunciados obtenidos únicamente de manera directa. En opinión de Neurath, estos enunciados no existen. El hecho de que en el protocolo aparezca un nombre personal indica la presencia de una "manipula

ción". Es por ello que para Neurath todas las proposiciones tienen el mismo nivel. No existen proposiciones privilegiadas o de un nivel más primario.¹

Neurath añade que la postura de Carnap lleva a la pérdida de la objetividad ya que se refiere a las experiencias del sujeto cognoscente que pueden ser distintas a las de otro sujeto. Carnap remarca demasiado el "yo" tan familiar a la filosofía idealista. Así:

En el lenguaje fisicalista los nombres personales son reemplazados, sencillamente, por coordenadas y coeficientes de estados físicos. Puede distinguirse un "protocolo de Otto" de "un protocolo de Carlos", pero en el dialecto universal no es posible distinguir "un protocolo personal" de "un protocolo ajeno". Toda la problemática planteada por la existencia de "atras mentales" desaparece de esta manera (Ayer 1965, p.212).

Neurath adopta un lenguaje fisicalista que es, según él, intersubjetivo, universal e intersensual. Que es intersubjetivo lo

¹ El problema grave que se le presenta a Neurath es que su criterio de contrariedad o no-contrariedad con el sistema de proposiciones aceptado no basta para decidir cuáles proposiciones deben aceptarse y cuáles no. Es por ello que Schlick interviene como mediador en la controversia entre Carnap y Neurath con su artículo "Ueber das Fundament der Erkenntnis" (Erkenntnis, V.4, 1934). Schlick acepta la proposición de Neurath sólo para el caso de los sistemas de enunciados matemáticos. Pero cuando se trata de enunciados empíricos la consistencia no es suficiente. Señala que existen reportes observacionales que permiten la verificación o la falsación. Son enunciados privilegiados pero no son enunciados protocolares. Luego señala la forma en que la verificación puede llevarse a cabo mediante la comparación entre los estados de cosas predichos por el sistema de enunciados y el estado de cosas observado. (cf. Kraft 1966, p.120).

explica la última cita. Los enunciados protocolares pueden ser comprobados por distintos sujetos ya que no dependen del sujeto que lo profiera. Es universal por que todo enunciado, aún los de la vida cotidiana, pueden traducirse a él. Es intersensual por que sus enunciados pueden controlarse por medio de los distintos sentidos.

Carnap resuelve seguir la sugerencia de Neurath y manifiesta su adhesión a ella en el artículo "Psicología en el lenguaje fisicalista"(cf. Ayer 1965,p.171) y en otro artículo anterior llamado "Die Physikalische Sprache als Universalsprache der Wissenschaft"(cf. Carnap 1931,pp.432-465). Carnap distingue el lenguaje protocolar primitivo en el que se incluyen las "oraciones acerca de lo dado" de un cierto sujeto y el lenguaje del sistema que está constituido por los enunciados de la ciencia --diciéndolo en términos usuales, esto es, en el modo material del lenguaje. Un sujeto S puede verificar un enunciado del sistema deduciendo de él un enunciado de su propio lenguaje protocolar. El contenido de una proposición está dado por la posibilidad de efectuar tal deducción. Los enunciados que no permitan la deducción no tienen contenido y, por ello, no tienen sentido. Dos enunciados pueden traducirse el uno en el otro cuando de los dos se deduce el mismo enunciado. Ahora bien, todo enunciado del sistema es traducible a un enunciado del lenguaje fisicalista y también todo enunciado del lenguaje protocolar puede traducirse al

lenguaje fisicalista. Es por esta razón que:

El lenguaje fisicalista es universal e intersubjetivo (Ayer 1965, p.172).

Si se adopta este lenguaje como el lenguaje único del sistema de la ciencia, la totalidad de la ciencia se transforma en física y entonces:

Los diferentes dominios de la ciencia se convierten en partes de la Ciencia unificada (Loc.cit.)

La posibilidad de una ciencia unitaria está dada en la psicología, como en cualquier otra ciencia, por la traducibilidad de sus enunciados al lenguaje fisicalista. P y Q serán enunciados recíprocamente traducibles si mediante reglas (que no sean espacio temporales) Q se reduzca a P y viceversa. Esto mismo puede expresarse, en el modo material del lenguaje, diciendo que P y Q son descripciones de un mismo estado de cosas. Si nos situamos desde una perspectiva epistemológica diremos que la confirmación de P implica también la confirmación de Q y al revés. Si tenemos una expresión a y la podemos definir mediante expresiones b, c, ..., esta definición va a ser una regla de traducción ya que la expresión a podrá proferirse diciendo b, c, ... sin usar a y al revés. Por lo tanto, si tenemos dos lenguajes L_1 y L_2 diremos que son traducibles si para cualquier expresión de L_1 es posible encontrar una definición de esa expresión en términos de expresiones de L_2 . La traducibilidad puede ser completa o parcial y la derivación directa o indirecta (esto es, con ayuda de definiciones adicio-

nales). Según Carnap, todo enunciado de la ciencia es completamente traducible, directa o indirectamente, a conceptos físicos. Esto incluye también a los enunciados generales (las leyes), de manera tal que las leyes de todas las ciencias serán también leyes físicas.

Resumiendo podemos aseverar que el Círculo de Viena se puso de acuerdo en que el lenguaje de la física es el lenguaje de todas las ciencias, es decir, que cualquier enunciado del lenguaje de alguna ciencia particular es traducible a un enunciado del lenguaje físico (sin alterar por ello su contenido). A esta tesis la impulsó Neurath quien le puso el nombre de tesis del fisicalismo.

Posteriormente Carnap introduce un cambio de nombre a la tesis ya que la unificación no se lleva a cabo con los conceptos del sistema de la física sino más bien en relación a las propiedades y relaciones observables de las cosas. Entonces la llamó "Tesis de la reducibilidad del lenguaje científico al lenguaje-cosa" (cf. Kraft 1966, p.162). Lo que se quiere dar a entender es que todos los enunciados de todas las ciencias particulares pueden reducirse, en última instancia, a enunciados sobre estados o procesos del mundo material.

1.6. PL y verificabilidad de enunciados

Recordando lo que ya dijimos sobre la identificación del significado de los enunciados con su método de verificación, queda muy clara la importancia del criterio de verificación que posibilite

la distinción entre enunciados con y sin sentido. Ya vimos que, en sus comienzos, los PL pensaron que había una base firme para el conocimiento en los enunciados incorregibles que transmitían lo inmediatamente dado. La verdad o falsedad de estos enunciados se determina directamente por observación. A este tipo de enunciados Ayer los llama proposiciones básicas (cf. Ayer 1965, pp. 233-234). El criterio que se usaba en esta primera etapa es reconstruido por Hempel en los términos siguientes:

Requisito de la verificabilidad completa en principio:
Una oración tiene significado empírico si, y sólo si, no es analítica y se deduce lógicamente de una clase finita y lógicamente consistente de oraciones observacionales (Ayer 1965, p. 116).

Este criterio presupone la existencia de las proposiciones básicas de Ayer, esto es, de proposiciones que se puedan comparar de una manera directa con los datos experimentales. Estas proposiciones deben existir para permitir que el lenguaje se conecte con la realidad mediante la reducción a las proposiciones básicas.

El defecto de este criterio es que es demasiado estricto ya que como Popper dice

...el PL no sólo destruye la metafísica sino también la ciencia natural (citado en Joergensen 1970, p. 72).

Si tomamos el caso de las leyes naturales, es fácil observar que no cumplen con este requisito ya que incluyen cuantificadores u niversales. Si consideramos el enunciado "para todo x, si x es un trozo de oro, entonces x se disuelve en agua regia" sólo po

dremos verificar un número finito de especificaciones de esta im
plicación general y ello no alcanza para verificarla. Schlick en
frenta esta objeción con un interesante argumento:

Las leyes naturales no son "implicaciones generales"(en el lenguaje del lógico); son más bien reglas o directivas para que el investigador encuentre la forma de describir enunciados verdaderos y de predecir ciertos sucasos en el mundo real (citado en Joergensen 1970,p.72).

Los demás PL no se sintieron satisfechos con esta salida ya que preferían seguir considerando "implicaciones generales" a las leyes naturales. Ellos no podían aceptar ver a las leyes generales sólo como reglas de derivación para obtener enunciados singulares. (Neurath y Carnap contra Schlick, remarcan que las leyes se usan en la ciencia como enunciados y no como reglas. Por otra parte, se hacen intentos de falsarlas y las reglas no se falsan).

Por otra parte, ya vimos que Neurath no acepta la incorregibilidad de los enunciados y más bien piensa que la totalidad del conocimiento puede compararse con un barco en alta mar que tiene que repararse y reconstruirse sin posibilidad de detenerse en un peñasco seguro (cf. Ayer 1965,p.206).

Todo ello conduce a la necesidad de reformular el criterio, liberalizándolo. Esta preocupación la compartían Neurath, Hahn y Carnap (Y, por ese, según cuenta este último en su autobiografía, se les llamó el ala izquierda del Círculo, por contraste con la conservadora ala derecha, conformada principalmente por Schlick y Waismann quienes se mantenían en contacto con Wittgenu

stein y defendían sus ideas (cf. Schilpp 1963, pp. 57-58).).

Una propuesta de solución la da Popper en su libro Logik der Forschung(=Popper 1967) de 1935 en el cual declara que un enunciado es significativo si es falseable. Pero, en este caso, el problema es con los enunciados existenciales y con los enunciados de cuantificación mixta(universal y existencial) ya que no pueden refutarse con un número finito de oraciones observacionales. La segunda clase de enunciados tampoco podrá verificarse. Algunos empiristas lógicos le llamaron a esta segunda clase de enunciados pseudo enunciados. Pero estos enunciados son muy importantes en ciencia.

Reichenbach, por su parte, había propuesto aceptar como significativo a un enunciado siempre que fuese posible dar una medida de su grado de confirmación a través del límite de la frecuencia relativa de los casos de confirmación. En 1936, Carnap publica su artículo "Testability and Meaning" en donde toma en cuenta una parte de las ideas de Reichenbach, y afirma que todo enunciado sintético puede confirmarse más y más, pero nunca puede establecerse su verdad de manera definitiva. A partir de ello es mejor hablar hablar del problema de la confirmación más que del problema de la verificación. Carnap distingue también entre testabilidad y confirmabilidad de un enunciado. Un enunciado es testable si pueden realizarse ciertos experimentos que conduzcan a la confirmación (o desconfirmación) de un enunciado, en cier

to grado. Dirá que un enunciado es confirmable si se pueden saber las condiciones en que puede confirmarse. Un enunciado puede ser confirmable y no testable a la vez, por ejemplo, si sabemos qué clase de sucesos lo confirman o lo niegan, pero no sabemos cómo efectuar esas observaciones. La pregunta era entonces si debía tomarse a la testabilidad o a la confirmabilidad como criterio de significación empírica. Finalmente, Carnap decide quedarse con el requisito más débil que dice así:

Requisito de confirmabilidad: Todo enunciado sintético debe ser confirmable (citado en Joergensen 1970, p.75).

En este caso, se admiten los enunciados confirmables y no testables y también los enunciados generales. A pesar de lo liberal que es este criterio alcanza para excluir a enunciados no empíricos como los de la metafísica pues no son confirmables, ni siquiera de una manera incompleta.

1.7. La concepción de las teorías científicas del PL

Los positivistas críticos alemanes también ejercieron a este respecto una gran influencia sobre el PL, en particular, cuando se busca basar el conocimiento en hechos susceptibles de observación directa, en la postura antimetafísica y en su señalamiento de que el objetivo principal de la ciencia es la descripción de los hechos y la predicción, pero no la explicación. (cf. el punto 1.1. de este capítulo en donde consideramos la posición de Mach y el 1.5. en donde también aludimos a Helmholtz y a Kirchhoff).

El PL heredó la idea de Mach de que todas las ciencias (incluidas, por ejemplo la física y la psicología) describen "experiencias". Gracias a ello, según vimos, pudo intentarse un programa de unificación de la ciencia análogo al programa logicista de Russell y Whitehead en sus Principia Mathematica. Deslumbrados por los éxitos obtenidos en el logicismo creyeron que con ello se daba fundamento a la ciencia formal de una vez y para siempre. Lo que faltaba era fundamentar firmemente a la ciencia empírica mediante un programa reduccionista. Carnap, por ejemplo, en su Aufbau quiere construir un árbol lógico basado en "lo dado". El Aufbau es una ilustración de cómo puede construirse tal sistema de constitución. Un concepto estará constituido cuando se puedan dar reglas que permitan reemplazar una aserción que contenga al concepto por otras aserciones conteniendo otro concepto. De este modo, cualquier aserción de "alto nivel" se puede transformar en aserciones que contengan conceptos primitivos o lógicos exclusivamente. La constitución de los conceptos se da en pasos sucesivos a partir de los primitivos. Por ejemplo si queremos constituir "aceleración" la definiremos en términos de incremento de velocidad y tiempo. A su vez, la velocidad se define en términos de desplazamiento y tiempo.

La base del sistema de constitución es solipsista ya que los datos son adquiridos por el sujeto individual a partir de sus propias percepciones. Carnap denomina a su doctrina "solipsismo me

todológico". (En el punto 1.4. ya vimos las críticas de Neurath a esta postura).

En estos planteamientos se enmarca la estipulación de lo que es axiomatización para Carnap. Para él

Una teoría está axiomatizada cuando todos los enunciados de la teoría se disponen en forma de un sistema deductivo cuya base está formada por los axiomas, y cuando todos los conceptos de la teoría se disponen en la forma de un sistema constitucional cuya base está formada por los conceptos fundamentales (Carnap 1967, p.7).

En esta definición se mantiene el esquema de dos partes que usan los PL para describir a las teorías empíricas. La primera es la abstracta, corresponde al cálculo lógico, a los símbolos primitivos y se suministran en ella los axiomas y postulados (en función de los símbolos primitivos) que dan lugar a la estructura lógica de la teoría. La segunda incluye un cierto conjunto de reglas llamadas "definiciones coordinativas" o "interpretaciones empíricas" que relacionan el contenido empírico con el cálculo lógico y el conjunto de primitivas.

Podemos describir el sistema deductivo en palabras de Schlick como un conjunto de postulados junto a definiciones explícitas de conceptos no interpretados, y, a sus teoremas derivados, como a una estructura que "flota libremente" (cf. Achinstein-Barker 1969, p.17). Cuando le damos contenido empírico logramos "anclar" la estructura a través de las "definiciones coordinativas" de Reichenbach o de las "reglas de correspondencia" de Carnap.

Este intento de unificar la ciencia (que vimos antes) en un

único sistema lógico, siguiendo el programa logicista, y de dar una base única al sistema, es ubicado históricamente por Rolleri en el período comprendido entre la creación del Círculo y su desintegración en los treinta (cf. Rolleri 1981, p.3) y a los que lo llevaron adelante los llama positivistas lógicos. A los que continuaron investigando (pero siguiendo el programa de Hilbert para construir sistemas lógicos para cada teoría científica particular y, por eso, dando a cada sistema su propia base axiomática) en años posteriores los llama empiristas lógicos. Considero que la división de Rolleri es pertinente, pero no la terminología ya que, en la mayor parte de la literatura, se usan indistintamente los términos positivismo lógico y empirismo lógico y ello puede dar lugar a confusiones. Es por esta razón que creo más conveniente llamar a la primera corriente positivismo lógico inicial (PLi) y a la segunda positivismo lógico final (PLf). Al PLi corresponde el lenguaje fenomenalista. Al PLf, el fisicalista. Los PLi seguían el programa de reducción de la matemática a la lógica (sin saber que la reducción no era totalmente exitosa). Los PLf adherieron a las propuestas matemáticas de Hilbert de reconstrucción de teorías matemáticas particulares en forma de sistemas axiomáticos aunque proponiendo una reconstrucción análoga para las teorías empíricas. Así los PLf veían a las teorías empíricas (cuyo conjunto constituía a la ciencia) como un conjunto de enunciados relacionados lógicamente a los cuales se

podía representar en la forma de un sistema axiomático usando la lógica de primer orden para predicados. De esta manera, teoría equivale a un sistema hipotético-deductivo en donde se clasifican a las proposiciones en axiomas y teoremas y se dan reglas que permiten derivar unas proposiciones de otras proposiciones. Además los enunciados de la teoría están constituidos por términos teóricos y observacionales, los cuales están incluidos en un determinado lenguaje acordado, el cual tiene significado empírico, ya que cada término es, o bien observacional o bien se deriva de los observacionales a través de reglas de correspondencia. Esta división entre el nivel observacional y el nivel teórico del lenguaje es absoluta y, por ello, la base observacional es única y la misma para todos los sistemas axiomáticos. De este modo, los PLf siguen el mismo programa reduccionista de los PLi pero bajo una presentación distinta ya que modificaron la tesis de traducibilidad de las proposiciones científicas a una base empírica. Se vio que no era posible determinar, de una vez por todas, si una proposición científica es verdadera o falsa y que sólo se la podía confirmar más o menos en base a la experimentación. Por lo cual se sustituyó el requisito de verificabilidad por el de confirmabilidad. No obstante ello se siguió conservando el programa reduccionista como objetivo. Carnap, por su lado, fue debilitando su tesis inicial sobre la separación tajante entre términos teóricos y observacionales y acabó aceptando una conexión más

flexible entre ambos niveles del lenguaje científico y encontrá-
dole muchas dificultades a la posibilidad de reducción.

Sobre la forma en que se llevó a cabo la reconstrucción ló-
gica de teorías empíricas y las críticas que recibió la concep-
ción de las teorías empíricas del PL, hablamos en el siguiente
capítulo.

CAPITULO II :

AXIOMATIZACION DE TEORIAS EMPIRICAS.

2.1. AXIOMATIZACION DE TEORIAS

1.1. La presentación axiomática de las teorías

Es posible presentar a las teorías científicas de tres maneras diferentes (cf. Bunge [379], p.155):

a) HISTORICAMENTE. Este es el caso de las exposiciones que van siguiendo el desarrollo de una teoría a través del tiempo detallando descubrimientos, biografías de científicos, fechas, datos geográficos, aplicaciones de las teorías, etc.

b) HEURISTICAMENTE, esto es, estudiando las fórmulas de más aplicación de la teoría, aunque no fueran las más fundamentales, deduciendo sus consecuencias y resolviendo problemas con ellas. Esta forma de exponer es la más usada en los cursos de física y en las publicaciones.

Los dos enfoques mencionados son insuficientes. No puede partirse del enfoque histórico para lograr aplicaciones prácticas. Ni este enfoque, ni el heurístico arrojan luz sobre la estructura y la semántica de las teorías. Profesores, investigadores y estudiantes buscan formular otro punto de vista en el que se puedan expresar de una manera alternativa las deducciones y las interpretaciones físicas. Es por ello que surge una tercera forma, más sistemática, de exposición de las teorías.

c) AXIOMATICAMENTE. Este enfoque

...es el único que ofrece una versión global de la teoría y el único que se centra en sus ingredientes esenciales en lugar de distraerse con derivaciones, aplicaciones •

zig-zags históricos y psicológicos. (Bunge 1948, p.156)

La tarea de suministrar los pasos que condujeron a la construcción de una teoría es adjudicada por Bunge a metodólogos, sicólogos, historiadores de la ciencia y biógrafos. Bunge sostiene que no es posible incluir dos factores a la vez: la sistematicidad y la historicidad (cf. Bunge 1948, p.207) (Ya se verá que, a partir del planteamiento de Sneed, se empieza a superar esta escisión).

Bunge sostiene que el objetivo de la axiomatización es encontrar una lista de conceptos y enunciados principales para, luego, disponerlos ordenadamente, de forma tal que los otros conceptos y enunciados de la teoría sean derivables de este conjunto primitivo. Estos conceptos principales (• básicos) se llamarán indefinidos (• primitivos) y los enunciados principales (• básicos) se denominarán axiomas (• postulados) de la teoría. De esta manera se concibe a la teoría como un conjunto de proposiciones. (Carnap estará de acuerdo con este punto de vista, pero Sneed lo criticarán). El mismo Bunge (cf. Bunge 1969, p.415) compara una teoría con un "tejido que cuelga de sus supuestos iniciales". Los axiomas tienen el nivel jerárquico superior y, por debajo de ellos, se encuentran los teoremas. En el caso de las teorías empíricas, axiomas y teoremas tienen un contenido factual, no obstante sus nombres. Si la teoría está completamente axiomatizada entonces será posible derivar todos los teoremas usando únicamente inferencias de tipo lógico • matemático. Cuando se hace uso de un axioma en una ciencia formal, se está usando un supuesto no demostrado que facilitará la

deducción de otras fórmulas de la teoría. En las ciencias factuales el uso del axioma es el mismo aunque su supervivencia dependerá de una convalidación de los enunciados deducidos de ellos.

1.2. Un poco de historia

El primero en usar el método axiomático fue Euclides en su geometría. Muchos filósofos y científicos, entre ellos Spinoza y Newton siguieron sus pasos.

Un sistema axiomático euclídeo se caracteriza por ser un conjunto de proposiciones en el cual se incluye un subconjunto que consta de proposiciones autoevidentes, esto es, claras a la intuición y sin necesidad de prueba. A partir de estas últimas pueden deducirse lógicamente todos los otros elementos del conjunto.

La axiomática moderna fue completada y sistematizada por Hilbert en su libro de 1899 Die Grundlagen der Geometrie. Mientras que Euclides usaba una axiomática 'concreta', con una sola interpretación (y de la que formaban parte dibujos y esquemas), la axiomática de Hilbert es abstracta ya que admite varias interpretaciones. En la axiomatización de la geometría Hilbert habla de relaciones entre ciertas clases de cosas cuyos elementos se llaman 'puntos', 'rectas' y 'planos'. Para las relaciones se usan las expresiones 'se encuentra entre' y 'es congruente con'. No obstante ello, Hilbert no aclara qué clases de cosas son las mencionadas ni cuáles son las relaciones implicadas. Esto se deba a que Hilbert

- 32

separa los axiomas de la intuición y de una definición implícita de los seis conceptos arriba mencionados, aclarando que se definen únicamente diciendo que los axiomas se deben cumplir para ello.

Si en lugar de formular la axiomatización hilbertiana en lenguaje cotidiano, se elige hacerla en un lenguaje formal, la axiomatización también se llamará formal.

2.1.3. Críticas tradicionales a la presentación axiomática de las teorías

a) Robert Blanché considera que es ventajoso el método axiomático ya que otorga mayor generalidad a las teorías y nos da una visión más organizada de los conocimientos. Señala que el trabajo de axiomatización se parece al de la anatomía comparada y que la simbolización implicada en el proceso de axiomatización provee más seguridad y objetividad (cf. Blanché 1965, párrafo 23).

b) En el proceso de axiomatización se aplican esquemas y categorías de cada metateoría para efectuar una elucidación en cierto campo del saber que permite clarificar y, por ello, manipular más adecuadamente las teorías.

c) Bunge le encuentra trece ventajas a la axiomática que pueden resumirse en las que siguen:

i. Deja más claro cuáles son las teorías presupuestas por la teoría en cuestión.

ii. Las pruebas matemáticas inválidas e irrelevantes se reducen.

iii. Los significados son asignados sistemáticamente y los referentes no se pierden de vista.

iv. Se facilitan las orientaciones pedagógicas y la memorización, así como también, se suministra una guía a la investigación (cf. Bunge 1978, p. 201).

d) Las investigaciones axiomáticas contribuyen a la solución de problemas centrales de la filosofía. Whewell sostiene que la antítesis fundamental de la filosofía es la de razón y experiencia. En esta antítesis se oponen, según Blanché:

...las ideas y los hechos, el pensamiento y las cosas, el conocimiento y el ser, lo inteligible y lo sensible, lo abstracto y lo concreto, lo constituido y lo dado, lo concebido y lo percibido, lo a priori y lo a posteriori. Al invitar a interrogarse sobre lo lógico y lo intuitivo, las investigaciones axiomáticas aportan así su contribución a un problema que, a través del tiempo y del sistema entero de la ciencia, reúne un tema mayor de la investigación filosófica. La filosofía del conocimiento sugiere que la axiomática es un racionalismo que no es a uno llamar empírico pues de tal modo están las dos palabras habitualmente opuestas que al menos se le puede calificar de inductivo e experimental (Blanché 1965, parágrafo 29).

e) EL PROBLEMA DE LA ESCISION ENTRE LO INTUITIVO Y LO FORMAL. Cuando Blanché hace alusión a las posibilidades de aplicación del método axiomático afirma que una teoría es axiomatizable cuando alcanza la madurez. La ciencia sufre un proceso de

de desarrollo y cada ciencia particular atraviesa por etapas que son irreversibles, sucesivas y jerárquicas. Éstas son: la descriptiva, la inductiva, la deductiva y la axiomática. En consecuencia, la física será, para Blanché, la ciencia axiomatizable por excelencia y por eso los ensayos de axiomatizaciones en otras ciencias son escasos. Blanché, suministrándonos un criterio de madurez, afirma que la axiomática debe construirse sobre una teoría deductiva previa, la cual a su vez requiere de un conjunto vasto de leyes inductivas previas. Por ejemplo, la física de los siglos XVII y XVIII suministró leyes inductivas mientras que la del XIX elaboró leyes deductivas.

Para ejemplificar la etapa descriptiva de una ciencia, es muy interesante el ejemplo de la psicología y la sociología que describe Bunge (cf. Bunge (1969), p.416). Estas ciencias cuentan con gran cantidad de datos experimentales y con algunas generalizaciones de muy bajo nivel. Podría superarse esta etapa para pasar a la inductiva a pesar de la incomprensión y ridiculización del trabajo del teórico que pretende suministrar leyes o teorías que den razón de estos datos empíricos. Sin embargo, dar este paso superador es necesario, no nos podemos quedar en el nivel de la recopilación de datos tal como Bunge lo señala irónicamente con el ejemplo del pulpo:

...es instructivo reflexionar acerca del descubrimiento de que el pulpo obtiene de su medio aproximadamente la misma información que recibimos del nuestro, o sobre el

hecho de que los perros reciben incluso más información sensorial de cierta clase que nosotros, pese a lo cual no han desarrollado ninguna ciencia. (Dunge 1969 ,p.416)

Una teoría, cuando alcanza la etapa madura (tal como se señala antes) podrá axiomatizarse. Para el que la esté axiomatizando, la tarea más ardua es la de encontrar los axiomas • conjunto más pequeño de principios que permitan deducir, a partir de él, todo un conjunto de proposiciones dadas. Una vez que se hayan hallado las leyes inductivas que surgen de las situaciones experimentales se podrán formular las leyes de la teoría que son las que posibilitan el desarrollo de los axiomas.

Es legítimo ahora formular la siguiente pregunta: ¿Podrán abandonarse las significaciones intuitivas iniciales, tal como Blanche pretende (cf. Blanche' 1965, párrafo 26), una vez que se haya simbolizado y provisto de reglas de funcionamiento a un conjunto de axiomas? El mismo Blanche' reconoce, después, que siempre va a existir un terreno en donde la intuición no podrá reemplazarse con nada, aunque dice que es necesario hacerla retroceder hasta un mínimo. Por su parte, en Stegmüller también encontramos una respuesta a esta pregunta cuando afirma que existe una retroalimentación permanente en la explicación de los conceptos. Es necesario referirse repetidamente a la base intuitiva. A veces las nociones intuitivas son ambiguas • contradictorias entre sí y esto provoca la existencia de una imperiosa necesidad de realizar correcciones sucesivas. Stegmüller

se manifiesta en desacuerdo con una concepción que implique un progreso rectilíneo de la explicación a partir del punto de partida intuitivo (cf. Stegmüller 1976, p.8).

Podemos agregar que, para Blanché, hay una complementación entre lo intuitivo y lo formal, entre el esquema simbólico y el modelo concreto:

Intuicionismo y formalismo se complementan según la diversidad del espíritu y las oscilaciones de la historia (Blanché 1965, parágrafo 29)

Otros filósofos marcan una franca oposición entre estos elementos. Es la objeción número ocho que recoge Runge

La axiomatización, por ser un procedimiento puramente formal, es incapaz de capturar el significado factual de una teoría (Bunge 1978, p.210)

Brödy se hace eco de esta objeción señalando ciertos componentes que no pueden ser incluidos en la base axiomática de una teoría física (cf. Brödy 1981, p.588):

- i. La asignación de significados físicos;
- ii. La estipulación de cuáles sentidos (de elementos e propiedades) deben ser despreciados e tratados sólo aproximadamente en la teoría;
- iii. El alcance e validez de la teoría.

De esta manera se deja planteado el problema de la inclusión de los elementos intuitivos en el formalismo, al que se enfrentan como a un desafío científicos y filósofos de la ciencia por igual.

2.2. LAS DIFERENTES APROXIMACIONES

2.2.1. El formalismo de Rudolf Carnap

En Introduction to symbolic logic and its applications, Carnap señala que una teoría puede representarse mediante un sistema axiomático (AS) de manera tal que ciertas oraciones llamadas axiomas se colocan al principio y de ellas se derivan otras llamadas teoremas.

Carnap distingue su postura de la tradicional (euclídea) que requiere que los axiomas sean autoevidentes, esto es, claros a la intuición y sin necesidad de prueba. En su concepción, que él llama moderna, es posible elegir oraciones arbitrarias como axiomas (cf. Carnap 1958, p.171).

La posibilidad de controlar la derivación de teoremas de una manera muy precisa y de representar los axiomas de una manera muy controlada está dada por la capacidad de expresar la teoría en un lenguaje formal. Carnap dedicó buena parte de sus investigaciones a desarrollar y aplicar este tipo de lenguajes:

Para la formulación de un AS necesitamos elegir • construir un lenguaje L, el así llamado lenguaje básico del AS. Usualmente, este lenguaje básico contiene únicamente signos lógicos (Carnap 1958 parágrafo 42a).

Se concluye entonces que Carnap le añade al requisito de axiomatización, el requisito de formalización del lenguaje para lograr la reconstrucción de las teorías científicas.

Especial atención merece el desarrollo de la semántica de Carnap ya que ésta se vincula con la forma en que Carnap le da interpretación empírica al sistema axiomático, buscando reducir los enunciados de la teoría a lo observable. Carnap fue flexibilizando progresivamente sus tesis. Al principio pensó en la posibilidad de definir explícitamente todos los conceptos teóricos en función de los observacionales. Luego propuso definiciones condicionales. Más tarde incluyó en el lenguaje observacional ciertos términos observables indirectamente. En su artículo de 1938, "Logical Foundations of the Unity of Science", Carnap invita a formar cadenas de definiciones bicondicionales que permitan vincular el nivel teórico del lenguaje con el observacional. En su libro Fundamentación lógica de la física de 1969, Carnap introduce las llamadas reglas de correspondencia que permitirían conectar, en un continuo, a los términos más susceptibles de observación directa con los menos susceptibles. Esta afirmación marca el inicio de una oposición abierta al programa reduccionista inicial. La ausencia de una definición explícita de los conceptos teóricos en términos de los observacionales indican una reducción parcial, un conferimiento parcial de significado observacional a los términos teóricos. Sin embargo, con esto no se quiere dar a entender que algunos enunciados se reducen y otros no sino que la reducción no puede realizarse tan completamente como se suponía al principio.

2.2.2. El planteamiento de Patrick Suppes

Suppes concuerda con quienes sostienen que la posibilidad de axiomatizar está dada por la posibilidad de separar teoría y experimento:

Una de las mayores exigencias es, claramente, separar teoría y experimento cuando se lo que se intenta es hacer progresos en la fundamentación. Ya que, en lo que concierne a la reconstrucción racional precisa de la porción experimental de cualquier ciencia, parecen existir problemas de extrema dificultad... Pero en el área de la teoría el camino es parejo y está abierto (Suppes 1954, p.243).

Suppes propone a los filósofos de la ciencia considerar como suyo al siguiente objetivo: axiomatizar todas las ramas desarrolladas de la ciencia empírica (en lo de "desarrolladas" coincide con Flancké). Es por ello que puede afirmarse que la empresa de Suppes es una empresa a posteriori, en la medida en que pretende axiomatizar teorías científicas dadas. Su propuesta de axiomatizar está motivada por el hecho de que, en esa forma, se logrará claridad y precisión en los fundamentos de las distintas ciencias, una tarea que los filósofos desean cumplir desde hace mucho tiempo.

Suppes se opone a quienes creen que para axiomatizar una disciplina es necesario formalizarla en algún lenguaje artificial bien definido. Contrariamente a Carnap quien señala que es requisito indispensable, para axiomatizar una teoría y expresarla mediante un AS, elegir o construir un lenguaje formal (lenguaje básico del AS); Suppes afirma que este punto de vista lingüístico

es la causa de la escasez de resultados positivos en filosofía de la ciencia. Si pretendiésemos, antes de axiomatizar una disciplina que usa herramientas matemáticas, formalizar primero su lenguaje, entonces caeríamos en el mismo error de quien se propusiese formalizar ciertas partes de la matemática como el cálculo diferencial e integral, la teoría de matrices, las ecuaciones diferenciales ordinarias, las ecuaciones en derivadas parciales y la teoría de funciones antes de poder axiomatizar la mecánica.

Según Suppes, es posible llevar adelante un programa de axiomatización sin necesidad de recurrir a los lenguajes formalizados. La propuesta de Suppes es emplear una teoría de conjuntos informal para aclarar la estructura lógica de una teoría empírica:

El punto de vista que defiende es que los métodos básicos apropiados para los estudios axiomáticos en las ciencias empíricas no son metamatemáticos (y, por consiguiente, sintácticos y semánticos) sino los de la teoría de conjuntos (Suppes 1954, p.244).

A fin de fundamentar su afirmación, Suppes usa, entre otros, los argumentos siguientes:

(i) No existe actualmente una formulación formal suficientemente desarrollada de la teoría de conjuntos que incluya a las distintas ramas de la matemática.

(ii) A los fines prácticos, existe suficiente claridad, rigor y precisión en las ramas de la matemática que hacen falta para axiomatizar, sin necesidad de que estén formalizadas.

(iii) El marco conjuntista puede ser usado de manera intuitiva.

Esta axiomatización a la Supoes se hace mediante la formulación de un predicado conjuntista, el cual no se introduce al interior de un sistema formal de la teoría de conjuntos, por eso se habla de axiomatización informal. Esta forma de axiomatizar también se usa en matemática. A modo de ejemplo tomemos el caso de la teoría de grupos y supongamos que se quiere introducir el predicado "es un grupo". Esto se hará de la manera siguiente:

W es un grupo sii existen un A y una θ tales que:

- 1) $W = \langle A, \theta \rangle$
- 2) A es un conjunto no vacío
- 3) θ es una función con $D_I(\theta) = A \times A$ y $D_{II}(\theta) \subseteq A$;
- 4) $\forall a, b, c \in A: a \theta (b \theta c) = (a \theta b) \theta c$
- 5) $\forall a, b \in A$ existe un $c \in A$ tal que $a = b \theta c$
- 6) $\forall a, b \in A$ existe un $c \in A$ tal que $a = c \theta b$

"A" sería el conjunto (no vacío) de elementos del grupo. " θ " es una operación binaria tal que al operar ^{con} dos elementos del grupo se obtiene un tercer elemento que también pertenece al grupo.

Las condiciones 5) y 6) posibilitan la operación recíproca inversa.

Esta forma de axiomatizar se distingue de otras. En este caso 1) a 6) son axiomas pero entendiendo axioma como una parte de la definición del predicado conjuntista que se introduce. Las nociones primitivas son A y θ y, por ello, fueron enlistadas, aclarándose su carácter desde el punto de vista conjuntista. Luego se

completó la definición conjuntista suministrando los axiomas que deben ser satisfechos. A partir de la definición conjuntista se pueden deducir consecuencias tales como los principales teoremas de la rama de la ciencia de que se trate. Como la definición tiene la forma "w es un G sii?..", los teoremas tendrán la forma "Si w es un G, entonces..." y, de esa manera, podrán emplearse los axiomas como premisas.

Otro desafío que Suppes presenta a los filósofos de la ciencia es la formulación de teorías realistas de la medición que permite vincular semánticamente a los conceptos cuantitativos ^{CON} teorías epistemológicamente anteriores y a los conceptos cualitativos. Observemos que esta forma de proporcionar una interpretación empírica (que normalmente se realiza luego de conseguir la definición conjuntista:

...contrasta con el punto de vista imperante de que la estructura interna de una teoría ha de ser revelada por una teoría axiomática en un lenguaje formal (usualmente la lógica de primer orden) y que la semántica ha de ser establecida dando una interpretación (tal vez parcial) del lenguaje formal (algunas veces llamadas definiciones coordinativas) (Moulines-Sneed 1930, p.6).

(Este "punto de vista imperante" puede ser identificado con la posición que le adjudicamos a Carnap en este trabajo). Veamos un ejemplo ilustrativo.

Considerando el caso de la relación entre teoría y experimento en la mecánica de partículas axiomatizada, Suppes remarca la necesidad de dar una interpretación empírica de las nociones

primitivas. A fin de interpretarlas se va a requerir una teoría sistemática de la medición:

 Mi segunda propuesta programática es que los filósofos de la ciencia asuman como tarea el desarrollo de axiomatizaciones más realistas de los distintos tipos de mediciones (Suppes 1954 ,p.246).

Suppes cita el caso del axioma de transitividad de la coincidencia de las masas para aclarar lo que quiere decir con "axiomatizaciones más realistas desde el punto de vista empírico". La masa x va a coincidir con la masa y cuando colocándolas en los platillos de una balanza equilibrada, el fiel marque "posición de equilibrio". Sin embargo, esta relación de coincidencia nunca es exacta. No obstante ello todo conjunto de axiomas que sirva para la medición de masas debe asumir esa relación de coincidencia.

2.2.3. La concepción de las teorías científicas de P. Suppes

A Suppes le parece que la caracterización de las teorías científicas por parte del PL es extremadamente esquemática por varias razones. Por lo que respecta a la primera parte en que el PL divide a las teorías, Suppes objeta:

...es muy poco frecuente encontrar un ejemplo importante de una teoría que sea realmente trabajada como un cálculo lógico en los escritos de la mayor parte de los filósofos de la ciencia (Suppes 1967, p.56).

La segunda porción es la que corresponde a las definiciones coordinativas o a las interpretaciones empíricas y es demasiado vaga para Suppes. Más adelante veremos por qué.

De acuerdo con Suppes, se ha hablado en términos puramente sintácticos de la parte del cálculo lógico. Pero también, podría hablarse de los modelos de una teoría, los cuales son entidades abstractas aunque no lingüísticas. Hasta ahora, no se han tocado mucho los temas que se refieren a modelos, ya que los filósofos han usado ejemplos simples que no introducen tantos elementos matemáticos como los modelos.

Por otra parte, el cálculo con lógica de primer orden que usa la concepción enunciativa, no es útil por engorroso para axiomatizar la mecánica clásica, la mecánica cuántica, la termodinámica clásica y otras teorías que también necesitan de los conceptos de la teoría de conjuntos o algunos conceptos relativos a los números reales. En estos casos se hace más fácil referirse a los modelos de las teorías que a los enunciados de las mismas, ya que

estos no quedan bien definidos si la teoría no está formalizada en la manera estándar.

Para introducir la noción de modelo, Suppes hace uso de dos ejemplos. Dada una teoría de la medición axiomatizada (lo que implica haber axiomatizado álgebras de operaciones y relaciones realizables experimentalmente) de una cierta cantidad empírica como la masa por ejemplo, lo que queda por probar es un teorema de representación para los modelos de la teoría. Este teorema permitirá establecer un isomorfismo entre los modelos empíricos y los modelos numéricos de la teoría. Lo único que justifica la aplicación de números a las cosas es la existencia de este isomorfismo, ya que

...literalmente, no podemos tomar un número en nuestras manos y aplicárselo a un objeto físico (Suppes 1967, p. 59)

Si tenemos una estructura dada por un conjunto de números, con ciertas relaciones y operaciones definidas en él, podemos mostrar que es la misma que la que posee un conjunto de fenómenos a los que se aplican ciertas operaciones empíricas. En vez de decir misma estructura podemos hablar de modelos isomorfos. Esta formulación de modelo empírico de una teoría es muy complicada de desarrollar en términos lingüísticos.

El segundo ejemplo que Suppes nos presenta tiene que ver con la cuestión del reduccionismo planteada por el PL. Por ejemplo: se ha planteado muchas veces el problema de la posible reducción de la psicología a la fisiología habiéndose discutido a menudo en

en términos muy vagos. Frente a ello la propuesta de Suppes es la construcción de modelos de la teoría psicológica y examinar si, a partir de ellos puede construirse un modelo isomórfico en la teoría fisiológica (y todo ello posibilitado por el teorema de representación).

El concepto de modelo de una teoría también tiene que ver con la caracterización de las mismas. Si presentamos a una teoría como un cálculo lógico (= con una formulación estándar) estaremos dando una caracterización intrínseca de la teoría. Si queremos saber si la teoría puede axiomatizarse con la formulación estándar necesitaremos caracterizar a la teoría de un modo extrínseco. Éste estaría dado por la definición de la clase intensional de los modelos de la teoría. Por lo cual, la pregunta equivalente sería ¿podemos establecer un conjunto de axiomas cuyos modelos sean los de la clase definida?.

Suppes brinda la siguiente ilustración. La formulación extrínseca de una teoría de ordenamientos simples que sean isomorfos con un conjunto de números reales teniendo definida la relación "es menor que" (= la clase de todas las relaciones binarias isomorfas con un fragmento de la relación "es menor que" para números reales) sigue un patrón general: se toma, en primer lugar, un modelo específico de la teoría y, en segundo lugar, se define a toda la clase de los modelos de la teoría con referencia al modelo seleccionado. Según Suppes, el problema de la caracterización intrínseca

es ahora el de formular el conjunto de axiomas que caracterizarán esta clase de modelos no haciendo referencia a la relación entre modelos, sino únicamente a las propiedades intrínsecas de cualquier modelo (...) y esto no es fácilmente formulable en lógica de primer orden (Suppes 1967, p.60).

En cuanto a la segunda parte de la caracterización de las teorías científicas (la que alude a las definiciones coordinativas o interpretaciones empíricas), Suppes piensa que es una descripción demasiado simplista de la realidad de las teorías. En su práctica cotidiana, los científicos usan un aparato formal mucho más sofisticado para relacionar la parte teórica con los datos experimentales. Cuando un científico hace un experimento no es posible conectarlo de una manera automática a una teoría. Al recoger y ordenar sus datos, el científico obtiene, primeramente, un modelo del experimento que se identifica por su carácter discreto y finito frente a los modelos de la teoría que incluyen funciones continuas y secuencias infinitas. El problema de relacionar ambos tipos de modelos lo afronta la metodología estadística moderna, la cual tiene como fin desarrollar

una teoría elaborada de la experimentación que medie entre cualquier teoría científica fundamental y la cruda práctica experimental (Suppes 1967, p.63).

Existe toda una serie de teorías de diferente jerarquía que se interponen entre la teoría científica básica y el experimento. Es por eso que no es posible suministrar estas definiciones coordinativas (por lo menos de una manera sencilla) para cada teoría ni

afirmar tranquilamente que las definiciones coordinativas sirven para conectar modelos de la teoría con modelos del experimento.

A Suppes no le parece importante responder a la pregunta "¿qué es una teoría científica?" sino el reconocer que

la existencia de una jerarquía de teorías a partir de la metodología de experimentación para corroborar la teoría fundamental es un ingrediente esencial de toda disciplina científica sofisticada (Suppes 1967, p.64)

2.2.4. Evaluación de la perspectiva de Suppes

i. El tipo de axiomatización que Suppes prefiere, utilizando la teoría de conjuntos, y su despreocupación por la relación entre las teorías y los elementos extrateóricos, permiten afirmar que el planteamiento de Suppes conduce a la integración de las teorías de la física matemática al programa Bourbaki. Es sabido que el grupo Bourbaki usó la teoría ingenua de conjuntos para su reconstrucción de la matemática moderna en términos precisos. Por eso Suppes se sitúa frente a Carnap de una manera similar a como el grupo Bourbaki se sitúa frente a los metamatemáticos tradicionales. Esta integración de las reconstrucciones de Suppes al programa Bourbaki se ve facilitada por el interés casi exclusivo por el aspecto matemático de las teorías por parte de Suppes y sus colaboradores.

ii. No obstante lo afirmado en i., Suppes intenta ocuparse de las aplicaciones de las teorías empíricas a través del desarrollo de teorías realistas de la medición. Las funciones que aparecen en las teorías (físicas, por ejemplo) deben calcularse, en general, con la ayuda de teorías más elementales en lo que hace a su aspectos cuantitativos. Además estos conceptos cuantitativos deben vincularse con los cualitativos, y esto se realiza, según los empiristas, a través de "postulados de significación", "definiciones coordinativas" o "reglas de correspondencia", y, de acuerdo con Suppes, a través de las teorías realistas de la

medición. En consecuencia, la vinculación, tal como la plantean los empiristas, es interior a la teoría y, tal como la plantea Suppes, es exterior a la teoría en cuestión • inter-teórica.

iii. La forma de axiomatizar que no utiliza lenguajes formales introducida por Suppes ha dado buenos resultados prácticos, esto es, una producción más amplia en menos tiempo. La suya es una contribución a la llamada filosofía especial de la ciencia ya que admite la posibilidad de efectuar reconstrucciones fragmentarias de la ciencia. (En esto se diferencia de Carnap quien tiene un programa de reconstrucción comprensiva de todo el conocimiento científico).

iv. El concepto de teoría de Suppes es "pobre". Suppes no distinguiría entre la estructura de una teoría empírica y la de una teoría matemática. El concepto de teoría empírica de Suppes no incluye las aplicaciones de la misma, separando las aplicaciones de la estructura matemática de las teorías.

La concepción estructural constituye un intento de superar éstas y otras deficiencias. En las páginas que siguen se desarrolla este novedoso punto de vista.

2.5. La concepción estructural

Los métodos aplicados en filosofía tendieron a simplificar en demasía a la realidad de la ciencia creando metodologías muy generales y aplicables universalmente.

Todo ello llevó a distintos investigadores, entre los que destaca J.D. Sneed, a abocarse al desarrollo de un programa de reconstrucción de teorías físicas particulares.

En el capítulo I de The logical structure of mathematical physics, Sneed critica dos enunciados que se corresponden con la concepción tradicional de las teorías científicas (statement view). El primero es el siguiente:

- (A) Las teorías científicas son conjuntos de enunciados; algunos de los cuales son empíricamente verdaderos o falsos (Sneed 1971, p.2).

El problema con este enunciado, aún aceptando su validez es que no se dice casi nada en él. Proporciona una condición necesaria muy débil (trivial). Por ejemplo, puede estar paseando por el Sahara con un amigo al que hace comentarios sobre la arena, el sol y la temperatura y, con ello, formule un conjunto de oraciones aunque ellas no son una teoría científica.

Otros filósofos le agregan a (A) la condición de que las oraciones guardan entre sí una relación lógica particular. Es por ello que buscan hallar una estructura lógica común (general) a todas las teorías científicas. Sneed, en cambio, se propone analizar la estructura de una teoría particular y, a partir de es-

te ejemplo, tratar de inferir cuál es la estructura básica de las teorías científicas.

Las unidades básicas de la teoría serán los modelos. Un modelo de una teoría estará constituido por una entidad que satisfaga el predicado conjuntista (à la Suppes) que es el que exhibe la estructura lógica de la teoría.

El segundo enunciado que Sneed critica es el siguiente:

(B) Las relaciones lógicas entre los enunciados de una teoría científica pueden exhibirse por medio de un sistema axiomático (Sneed, 1971, p.5).

Sneed se opone a quienes sostienen las siguientes proposiciones:

- i. Que para axiomatizar una teoría se debe construir previamente un lenguaje formal que le corresponda.
- ii. Que luego hay que interpretar este lenguaje sobre una porción de la realidad.
- iii. Que finalmente deben suministrarse las reglas de satisfacción de ese lenguaje en esa realidad.

En este sentido, Sneed concuerda con toda la argumentación que consideramos previamente al tratar la postura de Suppes. Ya se vio que Suppes se ocupa de dar razones que permiten cimentar esta última afirmación de Sneed.

Stegmüller también apoya la posición de Sneed y critica al programa de Carnap describiéndolo como "humanamente inexplicable". Existen sólo ejemplos excepcionales de personas que hayan logrado realizar una reconstrucción de teorías científicas reales en

el marco de un lenguaje formalizado, en la forma en que Carnap detalla este proceso. Una de estas destacadas personas es Richard Montague, un lógico sobresaliente. En un tono un tanto humorístico, Stegmüller adjudica el predicado "Super-Montague" a todos aquellos filósofos que consigan expresar toda la matemática moderna en lenguajes formalizados. Y el predicado "Super-Super-Montague" a todos aquellos filósofos que formulen toda la física moderna incluyendo a la teoría de la relatividad y a la física cuántica en lenguajes formalizados y puedan hacer de estas formalizaciones un objeto de estudio. (Stegmüller 1979, p.6).

Esta objeción pragmática de Stegmüller constituye un argumento a favor de la axiomatización a la Supoes escogida por Sneed.

Un problema adicional se genera cuando los que optan por formalizar los lenguajes al reconstruir teorías dividen al lenguaje científico en dos niveles, el de los términos observacionales y el de los términos teóricos. Este método de los empiristas lógicos se volvió común entre los filósofos de la ciencia quienes escindieron los términos científicos de la manera arriba señalada, y consideraron a esta división como absoluta. Ello se debió a que olvidaron el dato obvio de que la teoriedad de un término depende del papel que éste juega en una teoría determinada. Sneed introduce una nueva partición, pero esta vez la hace desde una perspectiva no epistemológica sino funcional y relativa a cada teoría. Esta es la razón por la cual Sneed prefiere designar a los términos como "T-teóricos" en lugar de "

Teóricos" a secas, y "T no-teóricos" en lugar de "no teóricos" a secas.

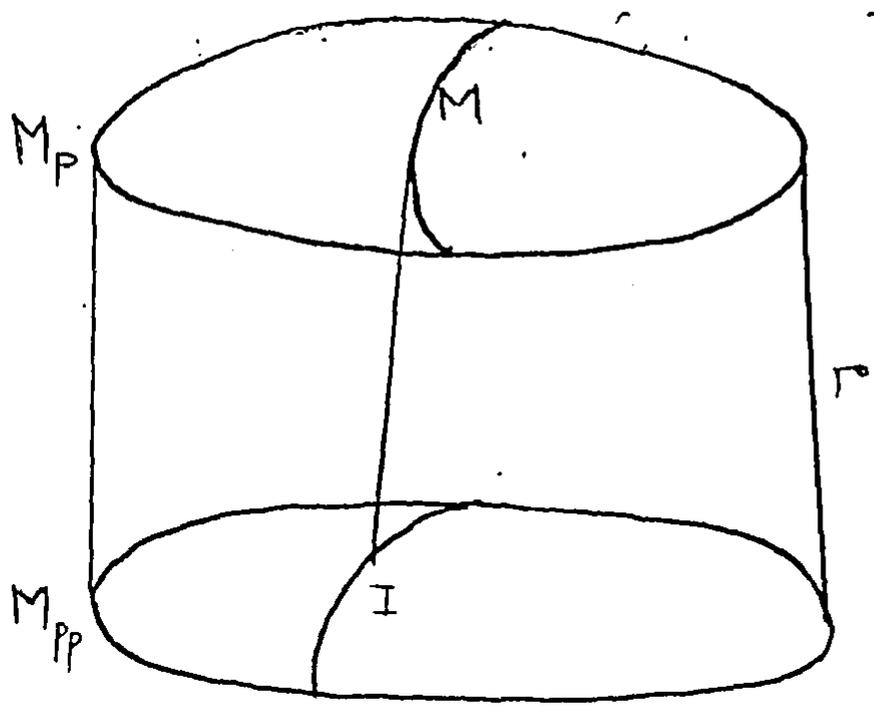
En 2.4. dijimos que la concepción de teoría de Suppes era pobre. La concepción estructural introduce una nueva noción de teoría. Una teoría será un par ordenado de la forma $\langle K, I \rangle$, siendo K la estructura matemática e I el dominio de las aplicaciones. A diferencia de los filósofos tradicionales (incluyendo también a Suppes) se concibe a la teoría como compuesta por una estructura matemática pero incluyendo también una base de aplicaciones intencionales, esto es, un dominio de casos paradigmáticos a los que la teoría se aplica. El hecho de que este dominio pueda ser extendido con el transcurso del tiempo se conecta con ciertos análisis de la dinámica de las teorías que parecían siempre escapar a las reconstrucciones metateóricas. (El análisis de la estructura matemática también es distinto al de Suppes, ya que según veremos, Sneed distingue entre modelos posibles y modelos posibles parciales, e introduce las condiciones de compatibilidad)

Las concepciones anteriores se ocupaban únicamente del aspecto estático de la ciencia. Nunca se incluye el aspecto dinámico junto al análisis lógico. Ello provocó que los críticos de las antiguas concepciones en filosofía de la ciencia como T.S. Kuhn, S. Toulmin y P. Feyerabend realizaran una intensa labor basada en análisis históricos. En Sneed 1974, Sneed articula

algunas ideas de Kuhn que incluyen aspectos lógicos. Se empieza entonces a superar la insatisfactoria separación entre teoría e historia de la ciencia. Al identificar una teoría por su estructura formal y por su referencia hemos de identificarla también por su uso. La teoría será entonces un sistema abierto ya que las aplicaciones son distintas a través de la historia y de las distintas comunidades científicas. Las aplicaciones se determinan pragmáticamente.

Las entidades que satisfacen K (primera componente del par ordenado $\langle K, I \rangle$ que define una teoría empírica) serán llamadas modelos de la teoría. Los modelos serán los sistemas de objetos que satisfacen el predicado primario (conjuntista). Este predicado contiene axiomas impropios y propios. Estos últimos están constituidos por leyes (ley) fundamentales de la teoría. El conjunto de los modelos posibles estará formado por aquellas entidades que cumplen los axiomas impropios aunque no cumplan las leyes fundamentales. Los modelos posibles (M_p) son n-tuplos $\langle n_1, \dots, n_r, t_1, \dots, t_s \rangle$ tales que los n_i corresponden a los componentes no teóricos y los t_i a los teóricos. Al caracterizar a los modelos posibles lo que hacemos es describir la estructura formal de aquellas entidades con respecto de las cuales tiene sentido preguntar si satisfacen el ^{predicado básico} de la teoría. Los tuplos $\langle n_1, \dots, n_r \rangle$ que sólo incluyen componentes no teóricos caracterizan a los modelos posibles parciales. Un subconjunto de es-

te último tipo de modelos será el de las aplicaciones intencio-
nales. Los objetos de que "habla" la teoría se describen como



Los modelos a que acabamos de aludir se interrelacionan formando una gran estructura tal como es posible intuir previamente. Estas relaciones también forman parte de la teoría y se llaman condiciones de compatibilidad (• de ligadura). Una de estas relaciones no es más que un subconjunto del conjunto potencia de los modelos posibles. La condición de compatibilidad expresa el hecho de que los distintos modelos tienen algunas cosas en común. Un ejemplo de condición de compatibilidad es aquella que dice que la masa m en la mecánica clásica de partículas es independiente del sistema. Esto significa que $m(u)$ (la masa de la partícula u) tiene el mismo valor en cualquier aplicación en que aparezca. Este ejemplo implica que la misma función teórica va a

asignar el mismo valor a cualquier individuo que se considere aunque éste aparezca en diferentes aplicaciones de la teoría. En virtud de esta aserción estamos posibilitados de hablar de una y la misma función teórica ya que esta condición requiere que diferentes funciones concretas procedentes de la misma función abstracta adjudiquen el mismo valor al mismo individuo en condiciones similares.

En resumen:

El par ordenado $\langle K, I \rangle$ es el que define a una teoría

I es el dominio de las aplicaciones de la teoría

$K = \langle M_p, M_{pp}, r, M, C \rangle$ es la estructura matemática • núcleo de la teoría siendo

M_p el conjunto de los modelos posibles

M_{pp} el conjunto de los modelos posibles parciales

r la función restricción que aplica M_p en M_{pp}

M el conjunto de modelos

C las condiciones de compatibilidad.

Con el fin de irnos introduciendo en la práctica meta científica haremos un ejercicio metateórico en el siguiente párrafo en el que ejemplificamos algunos de los conceptos estructurales a la vez que criticamos una axiomatización de la teoría de la Evolución de C. Darwin, concretamente la de Mary B. Williams.

2:3 AIGUNOS LINEAMIENTOS PARA UNA CRITICA A 'Deducing
consequences of evolution: A mathematical model'

de Mary B. Williams

En este trabajo, Mary Williams se propone establecer los axiomas que permitan derivar la teoría de la evolución de Darwin. Los axiomas son siete, ocupándose los dos primeros de las propiedades necesarias de la reproducción y los siguientes de la idea darwiniana de adaptabilidad. La teoría de Darwin es presentada como sistema axiomático a la manera tradicional, esto es, como un sistema deductivo en donde los axiomas son los principios fundamentales de la teoría a partir de los cuales pueden derivarse las restantes afirmaciones. (cf. Williams, 1970, p.343).

Mary Williams critica por compleja y difícil al tipo de axiomatización que es altamente formal. Su axiomatización es un ejemplo de una técnica poco formal propuesta por Witter en 1964 aunque, según ella, suficientemente rigurosa para su propósito. (cf. /13/, p.345). Término primitivo, axioma, definición y prueba son los conceptos básicos de esta técnica que es relativamente intuitiva. Está de acuerdo con Carnap en el hecho de que los axiomas no necesitan ser verdades autoevidentes (aunque puedan serlo). Considera que los términos primitivos son símbolos (que puedan ser una palabra o un conjunto de palabras) que denotan un concepto fundamental y son

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

aceptados sin definición. Los términos primitivos serán los más fundamentales y a partir de ellos podrán definirse el resto de los términos de la teoría.

En esta sección me ocuparé de los dos primeros axiomas que son los que permiten delinear, según Mary Williams, las propiedades del conjunto de organismos que se reproducen y a los que se aplica la selección natural. Este conjunto se denominará biocosmos. Los términos primitivos correspondientes al biocosmos serán los de entidad biológica y es padre de¹. Los símbolos usados son:

B = conjunto de entidades biológicas

b1, b2, b3, etc serán las entidades biológicas individuales

/ = es padre de

- = símbolo lógico de la negación.

Consideraré los siguientes axiomas y definición en la forma en que los presenta Mary Williams (cf. /13/, pp. 346-347) :

AXIOMA B 1

Para cualquier b1 en B, - (b1 / b1).

(o dicho informalmente: ninguna entidad biológica es padre de sí misma)

A continuación se define la relación es antepasado de. (= //).

DEFINICION B'1

b1 // b2 sii b1 / b2 o existe un conjunto finito de entidades biológicas, {b3, b4, ..., bk-1, bk}, tales que b1 / b3 / b4 / ... / bk-1 / bk / b2

¹Entendiendo "padre" en el sentido de progenitor.

(o dicho informalmente: b_1 es antepasado de b_2 significa que o bien b_1 es padre de b_2 o existe un conjunto de entidades biológicas $\{b_3, b_4, \dots, b_{k-1}, b_k\}$ tales que b_1 es padre de b_3 , la cual es padre de b_4 , ... , la cual es padre de b_{k-1} , la cual es padre de b_k , la cual es padre de b_2 .)

AXIOMA B'2

Para cualquier par de entidades biológicas, b_1 y b_2 , se cumple que, si $b_1 // b_2$ entonces $\neg (b_2 // b_1)$

(o dicho informalmente: si b_1 es antepasado de b_2 , entonces b_2 no es antepasado de b_1 .)

En lo que sigue se intentará formular el predicado conjuntista correspondiente a esta 'mini-teoría'.

En este caso se quiere introducir el predicado "es un biocosmos"

"x es un biocosmos" sii existen un B y una / tales que

- 1) $x = \langle B, / \rangle$
- 2) B es un conjunto finito no vacío
- 3) $/ \subseteq B \times B$
- 4) $\forall i, \neg (b_i / b_i)$
- 5) $\forall i, j, \text{ si } b_i / b_j \vee \exists n \{b_1, \dots, b_n\} \text{ con } n \geq 1 \text{ tq } b_i / b_1 \text{ y } b_1 / b_2 \text{ y } \dots \text{ y } b_n / b_j \text{ entonces } \neg (b_j / b_i) \text{ y } \neg \exists \{b'_1, \dots, b'_n\} \text{ con } n \geq 1 \text{ tq } b_j / b'_1 \text{ y } \dots \text{ y } b'_n / b_i$

El predicado se construyó en la forma explicada en las pp. de este trabajo. '1)' a '5)' son los axiomas que forman parte de la definición del predicado 'conjuntista'. '1)', '2)' y '3)' se denominan axiomas impropios y nos indican cuáles son las nociones primitivas señalando sus características desde el punto de vista de la teoría de conjuntos. Los dos últimos axiomas son las leyes o axiomas propios que corresponden a los dos axiomas formulados por Mary B. Williams.

Llegados a este punto y observando la relativa compli-
cación en el predicado conjuntista podemos preguntarnos si no
habrá una falla en nuestro desarrollo.⁽¹⁾ Como se trata de defen-
der la axiomatización al modo estructural convendrá buscar el
error en la formulación de los axiomas o en la elección de
las nociones primitivas. La siguiente demostración prueba que
los axiomas son dependientes.

TEOREMA

(1) Aunque ésta no es razón
por sí sola para dudar de la a-
xiomatización,

El AXIOMA B 2 \Rightarrow el AXIOMA B 1

1) Nuestra premisa es el axioma B 2:

$\forall i, j$ si $b_i // b_j$ entonces $\neg (b_j // b_i)$

2) El axioma se cumplirá también para el caso particular en
que $j = i$:

si $b_i // b_i$ entonces $\neg (b_i // b_i)$

3) Pero por definición del condicional (o usando la tautolo-
gía 'p entonces $\neg p$ IMPLICA $\neg p$) esto implica que:

$\neg (b_i // b_i)$

4) Lo cual implica (usando la DEFINICION B1 y el teorema de
De Morgan) que:

$\neg (b_i / b_i)$ y $\neg \bigwedge \{ c_1, \dots, c_n \}$ con $n \geq 1$ tq b_i / c_1 y
y c_1 / c_2 y \dots y c_n / b_i

5) De lo cual obtenemos (por la regla de simplificación de
la conjunción):

$\neg (b_i / b_i)$ que es el AXIOMA B 1

También es posible elegir como términos primitivos a los de entidad biológica y es antepasado de ya que "es padre de" y "es antepasado de" son interdefinibles.

DEFINICION B' 1

$b_i // b_j$ sii $b_i // b_j$ y $\exists \{c_1, \dots, c_n\}$ con $n \geq 1$ to $b_i // c_1$ y $c_1 // c_2$ y ... y $c_n // b_j$

REFORMULACION DEL PREDICADO "es un biocosmos" :

x es un biocosmos sii existen un B y una // tales que

- 1) $x = \langle B, // \rangle$
- 2) B es un conjunto finito no vacío
- 3) $// \subseteq B \times B$
- 4) $\forall i, j$ si $b_i // b_j$ entonces $\neg (b_j // b_i)$

De esta forma el predicado "es un biocosmos" encontró una expresión más sencilla. Sin embargo se presenta un problema: con este predicado no puede demostrarse el

TEOREMA B 2

$\forall b_1, b_2, b_3 \in B$ si $b_1 // b_2$ y $b_2 // b_3$ entonces $b_1 // b_3$

A fin de solucionar el problema existen dos caminos: (I) Mantener el primer predicado conjuntista sin incluir el axioma 4) (ya que se demostró que se deriva del axioma 5));

(II) Mantener el segundo predicado conjuntista agregando el teorema B 2 como axioma.

Consideremos la vía (I). Para demostrar el teorema B 2 tenemos

como premisa a

$$(P) b_1 // b_2 \text{ y } b_2 // b_3$$

y contamos con la definición B 1.

DEMOSTRACION DEL TEOREMA B 2:

(1) $b_1 // b_2$ y $b_2 // b_3$ Premisa

(2) Desarrollando la premisa según la definición B 1 queda:

$$\left[b_1 / b_2 \vee \exists \{f_1, f_2, \dots, f_k\} \text{ con } k \geq 1 \text{ tales que } b_1/f_1 \text{ y } f_1/f_2 \text{ y } \dots \text{ y } f_k/b_2 \right] \text{ y } \left[b_2 / b_3 \vee \exists \{h_1, h_2, \dots, h_n\} \text{ con } n \geq 1 \text{ tales que } b_2/h_1 \text{ y } h_1/h_2 \text{ y } \dots \text{ y } h_n/b_3 \right]$$

(3) Podemos transformar (2) según la siguiente equivalencia

$$(A \vee B) \wedge (C \vee D) \Leftrightarrow (A \wedge C) \vee (A \wedge D) \vee (B \wedge C) \vee (B \wedge D) \text{ obteniendo:}$$

$$\left[b_1/b_2 \text{ y } b_2/b_3 \right] \vee \left[b_1/b_2 \text{ y } \left(\exists \{h_1, \dots, h_n\} \text{ con } n \geq 1 \text{ tales que } b_2/h_1 \text{ y } \dots \text{ y } h_n/b_3 \right) \right] \vee \left[\left(\exists \{f_1, f_2, \dots, f_k\} \text{ con } k \geq 1 \text{ tales que } b_1/f_1 \text{ y } \dots \text{ y } f_k/b_2 \right) \text{ y } (b_2 / b_3) \right] \vee \left[\left(\exists \{f_1, \dots, f_k\} \text{ con } k \geq 1 \text{ tales que } b_1/f_1 \text{ y } \dots \text{ y } f_k/b_2 \right) \text{ y } \left(\exists \{h_1, \dots, h_n\} \text{ con } n \geq 1 \text{ tales que } b_2/h_1 \text{ y } \dots \text{ y } h_n/b_3 \right) \right]$$

(4) Aplicando nuevamente la definición B 1 nos queda

$$(b_1//b_3) \vee (b_1//b_3) \vee (b_1//b_3) \vee (b_1//b_3)$$

(5) Lo cual implica según las reglas de la lógica

$$b_1 // b_3$$

lo cual es lo que queremos demostrar.

(En términos intuitivos, los pasos (1) a (5), expresan lo siguiente: si b_1 es antecesor de b_2 y b_2 es antecesor de b_3 entonces b_1 es padre de b_3 • existen seres intermedios todos vinculados ^{entre sí} por

la relación padre de que los vinculan y también b_2 es padre de b_3 o existen seres intermedios, todos vinculados entre sí por la relación padre de, que los vinculan. Dado esto, la conclusión de que b_1 es antecesor de b_3 puede obtenerse de cuatro formas: (1) que b_1 sea padre de b_2 y b_2 padre de b_3 , (2) que b_1 sea padre de b_2 y b_2 se conecte con b_3 a través de seres intermedios todos vinculados por la relación padre de, (3) que b_1 se conecte con b_2 a través de seres intermedios todos vinculados entre sí por la relación padre de y que b_2 sea padre de b_3 , (4) que existan seres intermedios entre b_1 y b_2 como entre b_2 y b_3 todos vinculados entre sí por la relación padre de. (1), (2), (3) y (4) se dan según el teorema, por lo cual b_1 es antecesor de b_3).

Consideremos la vía (II). En este caso ya no se puede demostrar el TEOREMA B 2 ya que no contamos con la definición B 1 pues ahora la relación es antecesor de es primitiva. Por lo tanto se debe incluir al TEOREMA B 2 como un axioma en el predicado conjuntista:

SEGUNDA REFORMULACION DEL PREDICADO "es un biocosmos":

x es un biocosmos sii existen B y $//$ tales que

(1) $x = \langle B, // \rangle$

(2) B es un conjunto finito no vacío

(3) $// \subseteq B \times B$

(4) $//$ es transitiva

(5) $\forall i, j$ si $b_i // b_j$ entonces $\neg (b_j // b_i)$

Obsérvese que (4) es equivalente al TEOREMA B 2.

(4) y (5) son los axiomas propios o leyes empíricas que pueden controlarse experimentalmente. (1), (2) y (3) son axiomas estructurales que caracterizan la estructura, la función y la relación.

EVALUACION DE LAS DOS VIAS: La vía (II) es más económica y elegante. La vía (I) parece atenerse más a la teoría de la evolución. Parece preferible considerar como primitiva a la relación es padre de (más que a la relación es antecesor de) ya que es más directamente interpretable y más fácil de controlar experimentalmente. Las dos vías indican que vale la propiedad transitiva para la relación es antepasado de y, por su lado, el axioma B 2 de Mary B. Williams (que se incluye en todos los predicados que presentamos bajo distintos nombres) señala el cumplimiento de la propiedad asimétrica. Por eso es posible concluir que esta relación es una de orden parcial. Mary Williams sostiene que esta estructura formal es la que permite definir a la entidad que evoluciona (cf. Williams 1970, p.348). Sin embargo, esta caracterización es, en mi opinión, demasiado amplia y no permite ni siquiera vislumbrar la teoría en cuestión. Existen innumerables ejemplos de órdenes parciales (el conjunto de alumnos de una escuela, para los que se define la relación "es más alto que", el conjunto de árboles de un bosque, para los que se define la relación "es más joven que", etc.). Por lo tanto, la teoría en cuestión no se distingue de los otros casos de órdenes parciales.

Este capítulo ha servido para fundamentar nuestra opción por la concepción estructural como la metateoría más adecuada. Con esta herramienta intentaremos en el siguiente capítulo resolver los problemas filosóficos que se presentan en hidrodinámica y efectuar la reconstrucción de esta teoría. Y con esto entramos en la parte fundamental de la tesis.

CAPITULO III :

RECONSTRUCCION LOGICA DE LA HIDRODINAMICA.

3.1. Notas sobre la historia de la hidrodinámica

3.1.1. INTRODUCCION

El siglo XVIII se caracteriza por un optimismo derivado de la sobrealvaloración de los progresos científicos y tecnológicos. Este optimismo motiva la adjudicación de enormes recursos a la actividad científica que otorgan gobiernos y manos privadas. Los científicos y los estudiantes comienzan a gozar de ventajas económicas, ya que ellos son los que hacen avanzar la ciencia y con ello mejoran indudablemente las condiciones sociales. Dentro de este marco de ideas es que se crean institutos y academias de ciencia como el Conservatoire National des Arts et Métiers (París, 1794) y The Royal Institution of Great Britain (Londres, fin del siglo XVIII). La ciencia se convierte así en una profesión honorable y reconocida socialmente.

La influencia de Newton se encuentra muy presente en la ciencia del siglo XVIII aunque su importancia va más allá de sus descubrimientos en astronomía y matemáticas:

...su idea de que el universo podría ser condensado en un conjunto de ecuaciones (ya que eso era lo que leían en los Principia los científicos del siglo XVIII) inspiró a la filosofía natural una nueva visión (Taton 1964, p.394). (subrayado mío)

La ciencia del siglo XVIII sufre un proceso de matematización debida al desarrollo del cálculo diferencial y a la aparición de novedosos métodos como las ecuaciones diferenciales, las ecuaciones diferenciales parciales y el cálculo de variaciones lo

cual contribuyó

a completar el trabajo que Newton había empezado tan brillantemente en mecánica y a introducir la matemática en acústica y en hidrodinámica (Taton 1964, p. 393). (Subrayado mío)

Sin embargo el asunto ofrecía no pocas dificultades. No era fácil, por ejemplo, traducir a un lenguaje racional los complejos fenómenos de la resistencia de los fluidos. La hidrodinámica, para tomar un caso, se va desarrollando con una elegancia matemática colosal aunque, en algunos momentos, parece quedarse en un mero juego formal. Ilustramos esta cuestión con una cita de Norwood Hanson quien nos hace ver la contradicción que surge entre los desarrollos formales y lo intrincado de los datos observacionales en el curso del desarrollo de una ciencia:

...la mecánica analítica de Lagrange también era una favorita de los formalistas. Pero, nuevamente, esta conquista proviene de definir ^{o definir} las dificultades de esperadas que conciernen a los problemas de la mecánica como fuera de los límites de las premisas de Lagrange. De hecho podría existir una relación inversa entre el grado de elegancia formal de una teoría física y la posibilidad de aplicarla a fenómenos realmente complicados en los confines de la investigación. Si el ojo del investigador se concentra en las perplejidades que se presentan en su materia de estudio, su teoría será, seguramente, sintácticamente inelegante. Pero, si se preocupa por la elegancia formal, su atención ya no se enfocará hacia la complejidad de los datos mismos. Podría escribirse una historia de la física como un conjunto de variaciones sobre este tema (Achinstein-Barker 1969, p.76)(subrayado mío).

Hay una escisión entre teoría formal y experimento en el siglo XVIII que ejemplificaremos en el curso de este capítulo. (cf. también 2.1.3.e)

El otro objetivo de estas notas históricas es suministrar u

na respuesta a la pregunta: "¿de qué habla la hidrodinámica?".

En este sentido veremos que la hidrodinámica habla de:

- . rebanadas de fluido
- . campos de velocidades
- . campos de comportamiento material
- . campos de presiones
- . secciones transversales paralelas
- . elementos de agua
- . partículas de agua

Sin embargo no será hasta la sección 3.4. cuando determinemos la ontología de la hidrodinámica con precisión.

3.1.2. DESARROLLO

Según C. Truesdell, el primero que introdujo el concepto de fluido fue Leonardo Da Vinci. En este concepto se incluía tanto al a gua como al ire y fue inferido por Leonardo luego de comparar los movimientos de ambos elementos. Algunas de sus apreciaciones son las que siguen¹:

- ...en todos los casos de movimiento, el a gua tiene gran conformidad con el a ire.
- ...el movimiento del a gua dentro de a gua procede de manera similar al del a ire dentro de a ire.
- El movimiento del v iento es similar al movimiento del a gua (citado en Truesdell 1968, p.65)

¹ Manuscritos de Leonardo Da Vinci que pueden consultarse son: Atl. = Códice Atlántico, Biblioteca Ambrosiana, Milano.
 MS A, B, ... , I, K, L, M = Manuscripts A, ... Bibliothèque de l'Institut de France.
 Leic. = MS. Leicester, Pierpont Morgan Library.

Aparte de señalar similitudes, Leonardo se percató además de que el aire era compresible mientras que el agua, incompresible. Podemos encontrar también en Leonardo algunos antecedentes del principio de continuidad (de acuerdo con el cual, la velocidad de un flujo estacionario varía inversamente con el área de la sección transversal de un canal). Así, alrededor del año 1502, Leonardo escribía:

... un río, en todos los tramos de su recorrido, da paso en un mismo tiempo a igual cantidad de agua, cualquiera sea su ancho, su profundidad, su forma, su textura, su tortuosidad... un río de profundidad uniforme tendrá un flujo más rápido en la sección angosta que en la ancha. (citado en Benedict 1977, p.396)

(Debe aclararse que Leonardo introduce ciertas restricciones a sus observaciones que, más tarde, se tornaron innecesarias).

En su *Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii* de 1738, Daniel Bernoulli hace planteamientos que nos recuerdan a los recién citados cuando señala que una rebanada de fluido perpendicular a la dirección del movimiento se mueve ella toda con la misma velocidad y esta velocidad es inversamente proporcional a la sección transversal de la rebanada:

... todas las partículas de una misma rebanada tienen la misma velocidad, inversamente proporcional a la sección (Vlugge 1950, p.275)

El trabajo de D. Bernoulli marca el inicio de un gran desarrollo de la hidrodinámica, tanto teórica como aplicada.

Jean Bernoulli (padre de Daniel) publica en 1743 su Nouvelle Hydraulique en la que hace uso de un principio que tuvo origen en

los trabajos de Newton:

La fuerza de aceleración de una rebanada de fluido infinitesimal es igual a la masa de la rebanada por su aceleración (citado en Truesdell 1968, p.112)

Según J. Bernoulli, una rebanada infinitesimal de fluido está sometida a una presión normal por parte del fluido. Así introduce el concepto de fuerza interna en hidráulica. La diferencia de las dos fuerzas que actúan a ambos lados de la rebanada será la fuerza de aceleración a la que está sometida la rebanada.

Al inmiscuirse en el campo de la hidrodinámica, D'Alembert afirmaba en su Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides (en la página XXXIV) lo siguiente:

La mecánica de los cuerpos sólidos (...) no se apoya sino sobre principios metafísicos e independientes de la experiencia. Podemos determinar exactamente tales principios los que sirven de fundamento a los demás. Contrariamente, la teoría de los fluidos debetener, necesariamente, a la experiencia como base de la que no recibimos sino luces muy limitadas (citado en Dugas 1950, p.278)

Incluso ciertos trabajos de D'Alembert incluían resultados que no podían confrontarse experimentalmente tal como lo señala Truesdell (cf. Truesdell 1968, p.122) (En Truesdell 1968, p.123, se señala algo similar en relación a Euler:

.../Euler/ no podía derivar de sus ecuaciones ni un solo nuevo resultado que se pudiese controlar experimentalmente. Juzgada desde una perspectiva filosófica positivista, las investigaciones hidrodinámicas de Euler serían inútiles y estarían mal concebidas...)

Este ensayo de D'Alembert que acabamos de mencionar fue hecho en

atención a una convocatoria de la Academia de Berlín quien ofrecía un premio para el que desarrollase una teoría de la resistencia de los fluidos que incluyese una explicación del problema de las fuerzas que ejercen los fluidos sobre obstáculos sumergidos. (Este es el ensayo cuyos resultados no podían comprobarse experimentalmente) En este ensayo de 1749 se incorpora el primer análisis de un campo de velocidades. D'Alembert consideraba el caso en que las partículas de fluido tienen distinta velocidad (en distintas posiciones) y tomando como arbitraria a esta variación de velocidad. De esta forma D'Alembert introduce el concepto teórico de campo de comportamiento material¹ que tiene enorme importancia, por lo menos para nuestra reconstrucción (cf. 3.4.) Es en este ensayo también donde surge la célebre paradoja de D'Alembert según la cual un cuerpo sumergido no es sometido a fuerza alguna por parte del fluido, lo cual contradice la experiencia.²

Esta paradoja se incluye dentro del problema mencionado de la escisión entre desarrollo teórico y posibilidad de corroboración experimental que ya hemos mencionado.

La teoría de campo tridimensional de Clairaut y D'Alembert fue continuada por Euler quien la conjuntó con la propuesta de la

¹ Clairaut ya había hablado de un campo vectorial general en su libro La figura de la Tierra de 1743 (cf. Truesdell 1968, p.111).

² La paradoja considera el caso de un sólido simétrico, fijo e inmóvil que se encuentra en una corriente estacionaria uniforme de un fluido homogéneo y sin peso.

Hidráulica de J. Bernoulli de separar los aspectos cinemáticos y dinámicos del movimiento de los fluidos. Pero la contribución más importante de Euler es la teoría del esfuerzo cuyos puntos principales son los que siguen:

- Según Euler, la presión de un fluido es normal a la superficie sobre la que actúa(en el caso de fluidos incompresibles);
- Por otra parte, Euler siempre apoyó la idea de que los fluidos (inclusive cuando están en movimiento) ejercen una presión normal sobre elementos de fluido particulares y para ciertos tipos de flujos.
- Cuando la teoría tomó su forma definitiva, las dos ideas anteriores se vieron reunidas y ello generó el concepto de presión interna. Según este concepto, el campo de presiones normales a una superficie interior a un fluido (independientemente de su ubicación y forma) equivale a la acción que ejerce el fluido que rodea a la superficie sobre la misma (cf. Truesdell 1968, p.123) (no debe confundirse esta aserción de Euler con el principio de acción y reacción de Newton. Euler siempre se sitúa de un solo lado de la superficie que limita al fluido, a saber, del lado interior).

Ante este extraordinario descubrimiento, el propio Lagrange quedó anonadado aunque, a la vez, lo vio escépticamente. Así escribe años más tarde:

Debido a tal descubrimiento de Euler, toda la mecánica de fluidos se redujo a un único punto de análisis

sis, y si las ecuaciones que la contenían eran integrables, se podían determinar en todos los casos, las circunstancias del movimiento y de la acción de un fluido movido por ^{LAS} fuerzas que se quieren; desgraciadamente, ellas son tan rebeldes, que hasta el momento no se ha podido llegar a sus solución sino en casos muy limitados (citado en Dugas 1950, p.278).

Ya el propio Euler había señalado al ver las dificultades de integración que presentaban sus ecuaciones del movimiento de los fluidos:

Si no se nos permite penetrar al conocimiento completo del movimiento de los fluidos, la falla no está en la mecánica y en la inadecuación de los principios conocidos, es que el análisis mismo nos abandona aquí (citado por Taton 1964, p.90 del tomo II).

En su Scientia Navalis de 1738 (publicada en 1749), Euler asienta en la primera página su descubrimiento dando así un fundamento claro a sus teoremas hidrostáticos.

Mientras que todo el tratado de D. Bernoulli había estado limitado por la hipótesis de las secciones transversales paralelas, esto es,

..él asumía que las partículas de una rebanada de fluido perpendicular a la dirección del movimiento se movían a la misma velocidad y que esta velocidad es inversamente proporcional a la sección transversal de la rebanada (Taton 1964, p.430 del tomo II),

Euler pensó en líneas de corriente¹ Esta idea la introdujo en su traducción de New principles of Gunnery de Robin. Euler divide el fluido que se enfrenta a un obstáculo en líneas de corriente y

¹ Para una explicación de lo que son las líneas de corriente puede consultarse, por ejemplo, Feynman-Leighton-Sands 1971, p.40-9.

apelando al balance del momento en el infinito,

...Euler dio una buena prueba general correcta de que un flujo estacionario no ejerce fuerza sobre el obstáculo que lo obstruye. Desde entonces esto es llamado la "paredoje de D'Alembert" (Truesdell 1968, p.225)

Luego de muchas investigaciones, Euler obtuvo una ley, que según él, era necesaria y suficiente para toda la mecánica incluyendo por ejemplo, a la dinámica del rígido, a la teoría del sonido, a la hidráulica. Este ley es el principio general del momento lineal, el cual también se denomina primera ley del movimiento de Euler (aunque es equivalente a la segunda ley de Newton). Esta ley se puede formular de la manera siguiente:

Para toda porción # de cualquier cuerpo, la fuerza resultante $f(\#)$ es igual a la tasa de cambio temporal del momento lineal $m(\#)$, esto es, $\bar{F}(\#) = \dot{\bar{M}}(\#)$ (Truesdell 1968, p.232)

En la hidráulica, Euler había introducido el concepto de presión interna. Ahora debía mostrar que este concepto se infería de la ley fundamental. Entonces Euler habla en 1750 de un elemento de agua "...sujeto a la presión de las partículas de agua que lo rodean" y luego, en 1752, habla de "...las presiones con las cuales las partículas de agua interactúan realmente, en todos lados, unas con otras..." (citado en Truesdell 1968, p.230) Este supuesto y distintas investigaciones le permiten deducir la ecuación:

$$\rho \ddot{x} = - \text{grad } p + \rho \bar{b}$$

en donde se ve que la presión es un campo que varía con el espacio y el tiempo.

¹ En 3.3. discutiremos detalladamente esta ecuación en donde es la densidad del fluido, \ddot{x} la aceleración, p la presión y $\rho \bar{b}$ es la aceleración de la gravedad

Lagrange, "pirámide sublime de las ciencias matemáticas" se_
 gún Napoleón Bonaparte (citado por Víctor Bravo Ahuja en Lagran_
 ge 1963, p.9), publica su Mécanique Analytique en 1788. En este
 libro usa unas variables que hoy se designan como lagrangianas
 para describir el movimiento de los fluidos. (Estas variables ya
 habían sido empleadas esporádicamente por Euler) De acuerdo con
 Lagrange, las coordenadas actuales de un elemento del medio flui_
 do son funciones del tiempo y de las coordenadas iniciales de los
 mismos elementos.

En la reconstrucción nos inclinaremos por la perspectiva de
 Euler y no por la de Lagrange en cuanto a las variables. Pero
 esto lo consideraremos más ampliamente en el punto 3.3.

(En el punto siguiente, abundaremos más sobre el problema de
 responder a la pregunta "¿de qué habla la hidrodinámica?" que
 ya mencionamos en 3.1.1. y que se encuentra latente en toda la
 historia de la hidrodinámica. La solución que hemos encontrado
 la exponemos en 3.4.

3.2. Hidrodinámica e infinitesimales

3.2.1. La postura de los físicos

Las citas que se presentan a continuación se han extraído de textos universitarios de física:

La dinámica de fluidos se ocupa del estudio del movimiento de los fluidos (líquidos y gases). Dado que los fenómenos que intervienen en la dinámica de fluidos son macroscópicos, un fluido es concebido como un medio continuo. Esto significa que cualquier elemento de volumen de fluido pequeño se supone siempre de dimensiones tales que todavía estén contenidas en él un alto número de moléculas. De acuerdo con ello, cuando hablamos de elementos de volumen infinitamente pequeños, nos referiremos siempre a infinitamente pequeños desde el punto de vista "físico", esto es, muy pequeños comparados con el volumen del cuerpo con el que se está trabajando, pero muy grandes comparados con las distancias intermoleculares. Las expresiones partícula de fluido y punto en un fluido deben ser entendidas en un sentido similar. Si, por ejemplo, hablamos del desplazamiento de alguna partícula de fluido, no estamos aludiendo al desplazamiento de una molécula individual, sino a un elemento de volumen que contiene muchas moléculas, aunque todavía considerado como un punto (Landau-Lifshitz 1915, p.1)

...hay movimientos que se reducen al desplazamiento de unas partes del mismo cuerpo respecto a otras; y, en este caso, si el cuerpo se puede considerar como un medio continuo e infinitamente grande, se denomina medio continuo (...) El medio continuo puede ser un líquido incompresible en el cual puede haber corriente (...) La parte de la mecánica que estudia el movimiento de los líquidos se denomina hidrodinámica (Frish-Timoreva , p.158).

...en un sistema deformable tal como un fluido, hay que describir los movimientos de un infinito número de elementos (Shames 1962, p.70).

Con el fin de elucidar filosóficamente las citas, creo que sería conveniente distinguir dos clases de propiedades en los fluidos: las "reales" y las "ideales", las cuales se encuentran, en mi opi

nión, entre mezcladas en las afirmaciones anteriores.

REALES

. Los fluidos son cuerpos con una estructura profunda (atómica, subatómica, etc.) y por eso presentan discontinuidades en su constitución.

. Los fluidos tienen dimensiones finitas.

. Los elementos de volumen del fluido tienen un tamaño calculable.

. De las dos últimas afirmaciones se concluye que el número de elementos de volumen de un fluido particular puede determinarse.

Las citas transcritas al comienzo muestran cierta oscuridad en los planteamientos del físico cuya raíz podríamos encontrar en su traslado inconsciente del plano real al plano ideal (y al revés) durante el transcurso de su exposición. Este es el caso, cuando en algunos momentos nos habla de elementos de volumen "puntuales" y, en otros, de elementos de volumen de dimensiones finitas. En la primera interpretación su posición se acerca a la del matemático para quien cualquier elemento de volumen puede dividirse infinitamente, sin que haya límites por ello. La segunda

IDEALES

. Los fluidos son cuerpos macroscópicos y conforman un medio continuo.

. Los fluidos son infinitamente grandes.

. Los elementos de volumen o partículas de fluido son infinitamente pequeños y puede considerarse puntuales.

. De cualquiera de las dos últimas afirmaciones se colige que el número de elementos de volumen que hay en un fluido es siempre infinito.

interpretación se liga más a la realidad o al experimento, en donde la hipótesis del continuo (cf. 3.3.) va poner coto a la divisibilidad. A la misma conclusión se llega por el teorema que sigue que toma en cuenta las hipótesis que se juegan en esta segunda interpretación:

TEOREMA: Los fluidos no son infinitamente divisibles

- Prueba
1. Sea F una porción cualquiera de fluido de magnitud finita.
 2. Supongamos que los fluidos son infinitamente divisibles.
 3. En tal caso, F estará constituido por un número infinito de elementos de volumen δF_i .
 4. La magnitud de F (= el volumen de F) puede calcularse como la suma de todos los δF_i .
 5. Luego, la magnitud de F será infinita contra lo supuesto.
 6. Esta contradicción muestra que el supuesto de que los fluidos son infinitamente divisibles es falso. ¹

Obsérvese que este teorema es válido únicamente para la segunda interpretación en donde los δF_i van a tener dimensiones finitas. Para la primera interpretación no vale pues de la matemática sabemos que existen sumas infinitas con un resultado finito. Por lo tanto, la conclusión 5. del teorema es errónea si quiere tomarse la para la primera interpretación.

En resumen, considero que la contradicción en la que creen los físicos proviene de tomar los elementos de volumen como entidades

¹ Este teorema tiene una estructura análoga al que Moulines presenta en Moulines: 1977, p.5 para reconstruir un argumento de Zenón relativo a la divisibilidad del espacio.

físicas ("reales") y, al mismo tiempo, aplicarles la epsilónica del cálculo diferencial.

3.2.2. La posición de Berkeley

Hagamos ahora intervenir a Berkeley en esta disputa. Las citas del principio nos dicen que, en un fluido, hay un número infinito de elementos denominados elementos de volumen, partículas de fluido o puntos en un fluido. El objetivo que perseguimos en esta parte del trabajo es el de comparar esta afirmación con ciertos argumentos de Berkeley que se oponen a la tesis de la divisibilidad infinita de los objetos de la percepción, según la cual, esta clase de objetos se conformaría con un número infinito de percepciones. Estamos bien conscientes de que se están manejando, por lo menos en principio, dos aserciones diferentes:

- A - 1) Los fluidos son infinitamente divisibles.
- A - 2) Los objetos de la percepción son infinitamente divisibles.

Ya que el fluido es un objeto de la percepción, podría pensarse que A - 1) no es más que un caso especial de A - 2). Sin embargo los físicos continúan diciéndonos que no es así (cayendo, por supuesto, en una contradicción).

De acuerdo con la primera cita, al hablar de un elemento de volumen infinitamente pequeño estaremos señalando que ese elemento es más pequeño en varios órdenes de magnitud que el cuerpo que estamos considerando, pero muy grande comparado con las distancias que separan a las moléculas. Por lo cual sería posi-

ble calcular (aproximadamente) el volumen del elemento de volumen en un caso de aplicación física (suponiendo, por ejemplo, que su forma fuese cúbica). Debido a esto A - 1), siguiendo el planteamiento de los físicos, tiene que completarse de la manera siguiente:

A - 1 ') Los fluidos son infinitamente divisibles en porciones cuyo volumen puede calcularse.

En cuanto a A - 2), debe ser entendida en el contexto que el mismo Berkeley nos presenta:

...hay un infinito número de partes en cada partícula de materia, que no son percibidas por los sentidos (citado en Robles .1980, p.157).

La formulación completa de A - 2) es entonces:

A - 2 ') Los objetos de la percepción son infinitamente divisibles y estas partes infinitas son imperceptibles.

Nuevamente podría creerse que A - 1') es un caso especial de A + 2') considerando que las porciones de volumen son imperceptibles ya que los físicos dicen que son infinitamente pequeñas. Pero, según vimos, también dicen que las dimensiones de los elementos de volumen pueden calcularse, lo que permite suponer que estos elementos podrían percibirse y que, si ello no fuera actualmente factible, podría serlo en el futuro, en la medida en que avanza se la tecnología de la observación microscópica.

(En este sentido es válido el argumento del microscopio según el

cual

..cada objeto de percepción sucesivo está conformado por partes imperceptibles en ese nivel de observación, pero que podrán tornarse perceptibles mediante el uso de aparatos cada vez más potentes (Robles 1980).)

Las observaciones anteriores parecen indicar que la naturaleza del elemento de volumen es finita ya que éste puede calcularse y ,posiblemente, también observarse. Si esto ocurre, entonces es válido el teorema que ya demostramos en el punto anterior y es te resultado no hace más que darle la razón a Berkeley cuya conclusión en los Philosophical Commentaries es:

Muy ciertamente ninguna Extensión finita divisible ad infinitum (citado en Robles 1980, p.166).

Pero a pesar de toda esta argumentación, Berkeley observa que los geómetras no hacen caso y siguen dividiendo infinitamente a la extensión finita:

Después de hablar de los números pasamos a hablar de la extensión, la cual, considerada como relativa, es el objeto de la geometría. La divisibilidad infinita de la extensión finita, aun cuando no se la exprese abiertamente, sea como axioma o como teorema, en los elementos de esa ciencia, está, sin embargo, supuesta de igual manera en toda ella y se cree que tiene una conexión tan inseparable y esencial con los principios y demostraciones de la geometría, que los matemáticos nunca la ponen en duda ni la objetan en manera alguna (citado en Robles 1980, p.166).

Líneas particulares Determinadas no son divisibles ad infinitum, pero lo son las líneas como las usan los geómetras ya que no se las determina a ningún número finito particular de puntos. Sin embargo, un Geómetra (sin saber El por qué) de muy buena gana dirá que puede demostrar que una línea de una pulgada es divisible ad infinitum (citado en Robles 1980, p.165).

Para concluir este punto volvemos a traer a colación a las dos interpretaciones del punto anterior: la que se sitúa en el plano real (o empírico) y la que se sitúa en el plano ideal (estrechamente vinculada a la matemática). En esos términos, podemos afirmar que Berkeley se coloca en el nivel real y es allí donde sus argumentos en contra de la divisibilidad infinita cobran sentido pleno. Está claro que la divisibilidad factual tiene límites empíricos. Sin embargo, sus argumentos no pueden trasladarse al plano ideal o matemático. El teorema que demostramos de que los fluidos no son infinitamente divisibles concuerda con las afirmaciones de Berkeley pero no hay que olvidar:

(1ro) que es un teorema relativo a la divisibilidad empírica o real y

(2do) que los argumentos de Berkeley tienen un fundamento distinto al nuestro. (Nosotros ^{NO} basamos en la afirmación de que los elementos de volumen tienen dimensiones finitas calculables y Berkeley en las limitaciones de la percepción. Lo que le preocupa a Berkeley es que A - 2) se opone a su principio fundamental: esse est percipi.)

(3ro) que nuestro análisis se nutre en los libros de texto y se sitúa en una perspectiva de filosofía de la ciencia y el de Berkeley se vincula con la teoría del conocimiento.

3.2.3. El punto vista de Leibniz

Encontramos otra vez en Leibniz una confusión de los planos ideal y real, por ejemplo, en la siguiente afirmación acerca de los líquidos:

...nuestras sensaciones confusas son el resultado de una variedad de percepciones que es absolutamente infinita. Y es aproximadamente tal como el murmullo confuso que oyen los que se aproximan a la orilla del mar que procede de la combinación de las distintas resonancias de las olas innumerables (Leibniz 1962, p.322)

No cabe duda de que la variedad de las percepciones es finita y que lo que hay en el caso citado por Leibniz es una imposibilidad práctica de contarlas. Al afirmar que es infinita Leibniz se coloca en un plano ideal.

El matemático concordaría con este punto de vista ideal de Leibniz cuando afirma:

Aunque somos finitos, podemos saber, empero, muchas cosas acerca del infinito, como las que sabemos sobre las líneas asintóticas, es decir, las que prolongadas al infinito se acercan cada vez más entre sí, pero jamás se juntan, o acerca de los espacios infinitos en longitud pero de superficie no mayor que un espacio finito, o sobre las sumas de series infinitas (Leibniz 1962, p.423)

3.2.4. La propuesta de solución

La forma correcta de formular esta distinción la exponemos en

3.4. en donde explicamos que se debe tener en cuenta que, lo que en realidad se hace, es establecer un isomorfismo entre lo que ocurre en una porción del fluido y lo que ocurre en R^3 .

3.3. La teoría elegida .

La teoría que escogimos reconstruir podría denominarse HIDRODINAMICA DE FLUIDOS IDEALES (brevemente HFI). En lo que sigue se precisará a qué porción de la dinámica de fluidos corresponde.

En las notas históricas (cf. 3.1.) se observó que la noción de campo es muy útil para tratar con fluidos y que Euler descubrió que el campo de presiones normales a una superficie interior a un fluido es equivalente a la acción que ejerce el fluido que rodea esta superficie sobre la misma. Nos ocuparemos ahora de desarrollar matemáticamente estas nociones.

Definiremos estas nociones con respecto de l sistema cartesiano ortogonal. Si tenemos una región del espacio (o el espacio entero) es posible definir una función de los puntos de esa región que se llama $p(x,y,z)$ y es una función escalar ya que le adjudica a cada punto del espacio un escalar que corresponde al valor que la función tiene en ese punto. En otras palabras se dice que la función determina un campo escalar. Análogamente, si tenemos un vector v cuyas componentes v_i son funciones de las coordenadas x,y,z (en una región del espacio), puede definirse una función vectorial $v(x,y,z)$ tal que a cada punto del espacio le hace corresponder un vector y que, por lo tanto, determina un campo vectorial. Debe recordarse que los nombres especiales que reciben los campos se corresponden con su interpretación física. Así hay campos de presiones, campos de fuerzas, campos de veloci-

dades, etc.

También vimos en las notas históricas que Euler infería la mecánica de fluidos a partir de su principio general del momento lineal (o, equivalentemente, otros libros la infieren a partir de la segunda ley de Newton, por ejemplo: Feynman-Leighton-Sands 1971, p.40-5).

Las fuerzas que actúan sobre un volumen de fluido limitado por una superficie S son: la gravedad, cuya contribución por unidad de masa es el vector G y la generada por la presión que actúa sobre la superficie. La fuerza que puede ejercer la presión sobre un "pequeño" cubo de agua se debe a la variación de la presión en los diferentes puntos. Esta variación puede expresarse con la ayuda del concepto de gradiente. Si en una región del espacio tenemos definida a la presión como una función escalar p(x,y,z), el gradiente de la presión será el vector:

(1) $\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial z}$ (abreviadamente grad p)

La dirección del vector gradiente de p será aquella en la que p varíe más rápidamente.

Para obtener la fuerza resultante por unidad de masa debemos sumar G y la fuerza debida a la presión dividida por la densidad del fluido ρ :

(2) $\vec{G} - \frac{\text{grad } p}{\rho}$

El signo menos es una convención que indica que la presión actúa hacia el interior del volumen.

Pero según la ecuación fundamental de la dinámica $\bar{a} = \frac{F}{m}$ con lo que (2) queda:

$$(3) \quad \bar{g} = \frac{\text{grad } p}{\rho} = \frac{d\bar{v}}{dt}$$

Ahora bien, en hidrodinámica, el campo de velocidades v introduce dificultades adicionales. A este respecto es muy claro I.H.

Shames:

En la dinámica de partículas y en la del cuerpo rígido podemos describir el movimiento de cada cuerpo de una manera separada y discreta. Así, por ejemplo, la velocidad de la n-ésima partícula de un agregado de partículas que se mueve en el espacio puede especificarse mediante las ecuaciones escalares

$$(4) \quad \begin{aligned} (v_x)_n &= f_n(t) \\ (v_y)_n &= g_n(t) \\ (v_z)_n &= h_n(t) \end{aligned}$$

Nótese que la identificación de una partícula se logra fácilmente con el uso de un subíndice. Mientras que, en un sistema deformable tal como un fluido, hay un número infinito de elementos cuyos movimientos hay que describir, por lo que esta aproximación se hace inmanejable. En vez de ella, empleamos coordenadas espaciales para ayudar a identificar partículas en un flujo. La velocidad de todas las partículas de un flujo puede entonces expresarse de la siguiente manera:

$$(5) \quad \begin{aligned} v_x &= f(x,y,z,t) \\ v_y &= g(x,y,z,t) \\ v_z &= h(x,y,z,t) \end{aligned}$$

Así las coordenadas espaciales toman el lugar del subíndice n de los sistemas discretos de la mecánica. Esta se llama la aproximación de campo /field approach/ (Shames 1962, p.70)

Es aquí donde podemos señalar la característica número 1 de la HFI.

C - 1) La HFI es una teoría de campo.

La última cita corresponde a la llamada descripción euleriana. En ella los vectores de posición están asociados a puntos del espacio y no a "partículas o elementos de fluido". Por eso las coordenadas x, y, z y el tiempo t son independientes. El método euleriano consiste en encontrar el valor de las funciones $Q(x, y, z, t)$ de 4 variables independientes, sobre todo el espacio cubierto por el medio continuo. Conocer la descripción euleriana implica conocer en cada punto del espacio y para cualquier tiempo t , el valor de Q (presión, velocidad, densidad, etc.).

La relevancia que tiene para la física la descripción euleriana es puesta de manifiesto por Pao:

El concepto euleriano para la descripción del movimiento de un fluido es usado (casi exclusivamente) en la mecánica de fluidos por su simplicidad matemática. Obviamente, en el método euleriano, la obtención de la descripción detallada de las trayectorias de las partículas de fluido sólo es posible después de que /las ecuaciones/ hayan sido resueltas. Sin embargo, estas ecuaciones no se resuelven habitualmente, otra vez por su complejidad matemática. - Afortunadamente, en la mayor parte de los problemas con fluidos, el conocimiento del comportamiento de cada partícula no es esencial. En todo caso, lo que tiene una significación práctica mayor, es el poder expresar el estado general del movimiento en términos de las componentes de velocidad del flujo y el cambio de velocidad con respecto del tiempo en varios puntos del campo del flujo. Es por ello que el método euleriano es el que generalmente se adopta en mecánica de fluidos (Pao 1961, p.47).

C - 2) La HFI adopta la descripción euleriana de los fluidos.

Si tomamos en cuenta lo señalado antes por Shames, la aceleración que interviene en la ecuación (3) queda:

$$(6) \frac{d\bar{v}(x,y,z,t)}{dt} = \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \right) + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} \right)$$

ecuación que se obtuvo aplicando la regla de la cadena para la diferenciación. Con ayuda del operador grad escribimos (6) más brevemente y reemplazando en (3) obtenemos:

$$(7) \quad \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + (\bar{v} \cdot \text{grad}) \bar{v} = -\frac{g \rho_0}{\rho} \bar{e} + \bar{G}$$

(Esta ecuación (7) es similar a la obtenida por Euler en 1755 si no consideramos G (cf. Landau-Lifshitz 1975, p.3).)

El miembro izquierdo de la ecuación (7) (que corresponde a la aceleración) puede ser concebido como la superposición de dos efectos. El segundo término corresponde a la llamada aceleración de transporte y se debe a que si fijamos el tiempo en un t dado, la velocidad va a ser diferente en los diferentes puntos del campo. El primer término representa la aceleración local y se debe a los cambios en el campo de velocidades en un punto dado.

Ahora debemos ser honestos y declarar que en las consideraciones previas que condujeron a la ecuación (5) no se tomaron en cuenta los efectos de la viscosidad, esto es, el rozamiento interno a un fluido producido por el desplazamiento de una capa de fluido con respecto de las otras (a este "juego sucio" John Von Neumann lo llamaba estudio del "agua seca" (cf. Feynman-Leighton-Sands 1971, p.40-5).). Los fluidos que satisfacen esta restricción, esto es, que su fuerza viscosa es nula y que, por otra parte, tienen densidad constante (o equivalentemente que son incompresibles) se denominan perfectos o ideales (así se los

designa por ejemplo en Frish-Timoreva , p.159).

C - 3) La HFI --tal como su nombre lo indica-- se ocupa de estudiar los fluidos ideales en movimiento.

La influencia de la temperatura puede despreciarse sin mayor afectación y eso hace innecesaria la ecuación de la energía. Por otro lado, como la densidad es constante y se considera conocida

...solamente es necesario encontrar el cambio de presión con la velocidad para describir completamente el flujo del fluido (Hughes 1970, p.3).

De las condiciones que nos hemos fijado se sigue que las tres ecuaciones que corresponden a las tres componentes de la ecuación (7) son suficientes para describir el movimiento de un fluido ideal.

C - 4) La ecuación fundamental de la HFI es la (7).

Esta ecuación fundamental se aplica a fenómenos macroscópicos sin ocuparse de la estructura atómica o molecular de los fluidos. Es por eso que el fluido es concebido como un medio continuo amorfo. Así, toda porción de fluido, por pequeña que sea, será considerada como un elemento de volumen que aún contenga un "alto" número de moléculas (HIPOTESIS DEL CONTINUO). Si hablamos de un elemento de volumen infinitamente pequeño estaremos señalando que ese elemento es varios órdenes más pequeño que el cuerpo con el que tratamos pero muy grande comparado con las distancias que se paran a las moléculas:

dist moléculas <<...< dimens elem de volumen <<...< dimens cuerpo

C - 5) La HFI considera sólo fenómenos macroscópicos.

C - 6) La HFI concibe a los fluidos como medios continuos amorfos.

3.4. La reconstrucción de la HPI

En el capítulo 2 de esta tesis ya caracterizamos a la metateoría estructural (la cual emplearemos) como una aproximación modelo-teórica que no usa teoría formal de modelos sino una intuitiva. Se considera que los modelos son las unidades básicas de la teoría (en oposición a quienes toman a los enunciados como unidades básicas). Estos modelos empíricamente interpretados existen en gran número en toda teoría física y satisfacen un predicado conjuntista, el cual se llama también predicado básico y es el que proporciona la estructura matemática de la teoría. Los modelos siempre contienen dominios de individuos y ciertas funciones definidas en esos dominios que "describen" a los individuos.

En el caso que nos ocupa tendríamos dos dominios: F y T y cuatro funciones primitivas: \bar{v} , ρ , p y \bar{G} .

Una vez propuestas las funciones primitivas, la cuestión es ver qué leyes se presuponen al determinar su valor en las aplicaciones particulares. Por ejemplo, cuando se quiere determinar el valor de la función fuerza en la mecánica clásica de partículas se presupone la validez de la segunda ley de Newton. Sneed propone una distinción entre términos T-no teóricos y términos T-teóricos con base en la distinción entre funciones que presuponen las leyes de la teoría y las que no las presuponen. Este criterio de Sneed esté relativizado a la teoría con que se es-

té tratando ya que un término puede ser T-teórico en una teoría pero no en otra. La definición de Sneed es la siguiente:

La función n es teórica con respecto de T si y sólo si no hay ninguna aplicación i de T en la cual n_i es T-independiente; n es no-teórica con respecto de T si y sólo si hay por lo menos una aplicación i de T en la cual n_i es T-independiente (Sneed 1971, p.33)

Debe notarse que al revés de lo que hacían los empiristas se empezó por la definición de los términos teóricos. Es de observarse también que para que una función sea T-teórica necesita medirse en todas las aplicaciones de una manera T-dependiente y que para que sea T-no teórica basta con que una aplicación se mida de una manera T-independiente.

Dadas las dificultades de aplicación concreta del criterio de teoricidad de Sneed, Moulines propone no formularse ya una pregunta pragmática por los métodos de medición (como pretendía el criterio de Sneed) sino adoptar una perspectiva semántica y preguntarse por el significado de las funciones. Moulines establece su solución provisional en los siguientes términos:

...caracterizaremos a la función f como T-teórica en caso de que el concepto de f no tenga un significado preciso fuera del proporcionado por la propia teoría T, en pocas palabras, si f es un concepto específico para T. Si f, por el contrario, tiene un significado claro en una teoría T' la cual puede ser formulada independientemente de T, diremos entonces que f es T-no teórica (Moulines 1975, pp.57-58).

De acuerdo con este último criterio consideraré que \bar{v} , ρ , y \bar{G}

son HFI-no teóricas. \bar{v} y \bar{G} porque sus significados son explicados por la cinemática y la dinámica clásica de partículas respectivamente. Y ρ porque su significado está dado por consideraciones mecánicas y geométricas.

En cuanto a la presión, es posible encontrarla como concepto de la teoría de la mecánica definida por dos funciones (fuerza y superficie):

P 1) Presión es igual a la fuerza del fluido sobre la unidad de área de la pared:

$$p = \frac{F}{A}$$

(Alonso-Finn 1970, p.247)

Otras definiciones que podemos encontrar en los libros de texto son:

P 2) La ecuación de estado de los gases perfectos tiene la forma

$$p \cdot V = R \cdot T$$

donde P, V y T son respectivamente la presión, el volumen molar y la temperatura absoluta del gas, y R es la constante universal de los gases (Yavorski -Detlaf 1972, p.156)

P 3) Ecuación de Van der Waals del estado de un gas real (V_0 es el volumen de un mol de gas):

$$\left(p + \frac{a}{V_0^2} \right) (V_0 - b) = R \cdot T$$

donde a/V_0^2 es la presión interna debida a las fuerzas de atracción entre las moléculas, y b es la corrección correspondiente al volumen propio de las moléculas, que tiene en cuenta la acción de las fuerzas repulsivas intermoleculares. La a es una corrección adicional que depende de la energía potencial de la atracción entre dos moléculas (loc. cit., p.253).

P 4) Ley de Boyle-Mariotte: A temperatura constante, la presión que experimenta una masa determinada de gas

es inversamente proporcional a su volumen:

$$p \cdot V = \text{const (cuando } m \text{ y } T \text{ son constantes)}$$

(Frish-Timoreva , p.185)

P 5) "Aseveramos que la intensidad que es la conjugada del volumen es la presión negativa

$$- p = \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{S,N}$$

(Tisza)" (citado en Moulines 1982, p.136)

En realidad ninguna de estas ecuaciones de la presión se oponen a la hipótesis de que p es HFI-teórica. P 2) a P 4) se aplican a un tipo especial de fluidos como son los gases y por ello no son definiciones generales. En cuanto a P 5) presupondría la introducción previa del aparato conceptual de la termodinámica lo cual sería inadecuado por dos razones:

A- Histórica: la hidrodinámica se desarrolló 100 años antes que la termodinámica.

B- Sistemática: la medición de las magnitudes específicamente termodinámicas (U, S) presupone la medición de P y V y no al revés (En caso de conflicto se da preferencia a las magnitudes hidrodinámicas y geométricas).

En cuanto a P 1) no puede aplicarse a fluidos en movimiento, es una ecuación de la estática.

Es por todo lo argumentado que se sostendrá la hipótesis de que la presión es una función HFI-teórica.

Ya vimos al principio que los modelos son las entidades que satisfacen el predicado conjuntista. Ahora, luego de haber distinguido entre términos T-teóricos y T-no teóricos, podemos ma

tizar esta aserción y distinguir:

- a- El conjunto de los modelos posibles parciales (M_{pp}) que son los que incluyen a las funciones T-no teóricas;
- b- El conjunto de los modelos posibles (M_p) que incluyen tanto a las funciones T-no teóricas como a las T-teóricas y
- c-el conjunto de los modelos (M) que aparte de incluir todas las funciones comprende también la ley (• leyes) fundamental de la teoría.

Vamos a comenzar por el predicado conjuntista que deben satisfacer los M_{op} :

- D - 1) Fl(x) sii_{df} : existen F, T, \bar{v} , ρ , \bar{G} tales que
- 1) $x = \langle F, T, \bar{v}, \rho, \bar{G} \rangle$
 - 2) $F \cong F^\#$ que es una región de R^3
 - 3) $T \cong T^\#$ que es un intervalo de números reales
 - 4) \bar{v} es una función con $D_I(\bar{v}) = F \times T$ y $D_{II}(\bar{v}) \in R^3$ que puede derivarse parcialmente con respecto de sus argumentos
 - 5) ρ es una función con $D_I(\rho) = F$ y $D_{II}(\rho) \in R^+$
 - 6) \bar{G} es una función con $D_I(\bar{G}) = F$ y $D_{II}(\bar{G}) \in R^3$

Los Fl ("fluidos") son 5-tuplos que incluyen dos dominios F y T y tres funciones: \bar{v} , ρ y \bar{G} .

Si queremos referirnos a la aplicación intencional ^{de} HPI, F será una porción del espacio isomórfica con una porción adecuada de

R^3 a la que hemos denominado $F^\#$. Hecha esta suposición, se asume además que las relaciones que se establecen en la porción del espacio corresponden a las relaciones de la porción asignada de R^3 . F será la porción del espacio ocupada por un fluido del cual se investiga su movimiento.

Por su parte, el uso del conjunto T descansa en una idealización análoga: se asume que cualquier intervalo temporal es isomórfico con un intervalo de números reales $T^\#$ y, por eso, que las relaciones que se establecen en el intervalo temporal corresponden a las relaciones en el intervalo asignado de números reales. Por esta suposición y para la aplicación en cuestión se puede identificar T con algún conjunto de números reales que es isomórfico con el intervalo temporal durante el cual se está investigando.

Para asegurar que lo afirmado se cumple para todo elemento de T y de F , necesitaríamos contar con una reconstrucción lógica de las teorías de la métrica temporal y de la geometría métrica que sustentan a la HFI. (Para algunas pistas ver Sneed [97], pp. 86-ss y p. 116).

Las aclaraciones anteriores son necesarias ya que en otras reconstrucciones se ha identificado a F con R^3 y a T con R olvidando el status diferente que tienen las interpretaciones físicas y matemáticas. En esta confusión se ha caído por ejemplo en algunas presentaciones de la mecánica clásica de partículas (MCP)

tal como lo señalan Balzer y Moulines:

En muchas presentaciones de la MCP se identifica simplemente a S con R^3 y a T con R. Esto es en sí insatisfactorio ya que S y T tienen una interpretación física (esto es, como región espacial y ordenamiento temporal respectivamente), mientras que R^3 y R tienen una interpretación puramente matemática (Balzer-Moulines 1981, p.602).

A continuación, pasamos a describir los M_D , es decir, aquellas entidades con respecto de las cuales tiene sentido preguntar si satisfacen las condiciones para ser modelos de la teoría.

D - 2) $\Phi(x)$ si_{df}: existen F, T, \bar{v} , ρ , \bar{G} , p tales que

- 1) $x = \langle F, T, \bar{v}, \rho, \bar{G}, p \rangle$
- 2) $\Phi(F, T, \bar{v}, \rho, \bar{G})$
- 3) p es una función con $D_I(p) = F \times T$ y $D_{II}(p) \subseteq R$ y que puede derivarse parcialmente con respecto de sus argumentos espaciales.

Por último, caracterizaremos a los modelos. Los modelos serán los sistemas de objetos que satisfagan el predicado primario. La idea es que la estructura matemática de aquellos fluidos en movimiento que cumplan la ecuación fundamental de la HFI será caracterizada por el predicado conjuntista primario. La ley fundamental de la HFI será el axioma propio. Todas las leyes especiales se introducirán como restricciones a este predicado. bá-

sico,

Los modelos o fluidos de la hidrodinámica ideal serán las entidades que satisfagan el predicado conjuntista siguiente:

D - 3) FHI(x) si_{df}:

1) FH(x)

2) $\forall f \in F$ y $\forall t \in T$

$$D_t \bar{v}(f, t) + (\bar{v}(f, t) \otimes \text{grad}) \bar{v}(f, t) = - \frac{\text{grad } p(f, t)}{\rho(f, t)} + \bar{G}(f)$$

CONCLUSION

La reconstrucción lógica de la hidrodinámica aquí presentada ha permitido ver claramente la estructura profunda de esta teoría la cual ha sido poco estudiada desde un punto de vista filosófico. Es interesante señalar que las exposiciones de los libros de texto se usaron como base para la reconstrucción. El estudio de las diversas exposiciones de la hidrodinámica nos permitió caracterizar con precisión a la teoría de la hidrodinámica que hemos reconstruido: la hidrodinámica de fluidos ideales (HFI).

El trabajo realizado es una contribución a la llamada filosofía especial de la ciencia que efectúa análisis de las teorías científicas particulares.

Bibliografía

- Achinstein y Barker (editores). The development of logical empiricism. The Johns Hopkins Press, U.S.A..1969.
- Alonso M. y E.J. Finn. Física. Ed. Fondo Educativo Interamericana no. México. 1971.
- Ayer, A.J.. El positivismo lógico, Ed. Fondo de Cultura Económica. México. 1965.
- Balzer y Moulines. "Die Grundstruktur der klassischen Partikelmechanik und ihre Spezialisierungen". Z.Naturforsch. 36a, 600-608 (1981).
- Benedict, R.P.. Fundamentals of temperature, pressure and flow measurements, Ed. John Wiley and Sons. U.S.A..1977.
- Blenché, R..La axiomática. Centro de Estudios Filosóficos. UNAM. México. 1965.
- Bunge, M.. La investigación científica. Ed. Ariel. Barcelona. 1969.
- : Filosofía de la física. Ed. Ariel. Barcelona. 1978.
- Brody, T.A.. "The axiomatic approach in physics". En Revista Mexicana de Física. nro 4. México. 1961.
- Carnap, R.. "Die physikalische Sprache als Universalsprache der Wissenschaft". En Erkenntnis II. 1931. (pp. 432-465).
- : Introduction to symbolic logic. Dover Publications. New York. 1958.
- : Filosofía y sintaxis lógica. Cuaderno 12. Centro de Estudios Filosóficos. UNAM. México. 1963.
- : The logical structure of the world and pseudo-problems in Philosophy. Ed. Universidad de Berkeley. California. 1967.
- Dugas, R.. Histoire de la Mécanique. Ed. DU GRIFFON. Neuchâtel. Suiza. 1950.
- Feynman, R.P./R.B.Leighton/M.Sands. The Feynman Lectures in Physics, Ed. Fondo Educativo Interamericano. EEUU. 1971.
- Flematti, J.G.. "Física y filosofía". En Perspectiva, # 4 y 5. Noviembre-Marzo de 1981 (Reseña de las conferencias del Dr Carlos Greaf Fernández, pronunciadas entre el 27 y el 31 de Octubre de 1981 en la Facultad de Filosofía y Letras.UNAM).
- Frish, S. y A.Timoreva. Curso de física general. Ed. MIR.Moscú.
- Hughes, W.F.. Dinámica de los fluidos. Ed. Norma, Colombia. 1970.
- Joergensen, J.. The development of logical empiricism. The University of Chicago Press. Chicago and London. 1970.
- Kraft, V.. El Círculo de Viena. Ed. Taurus. Madrid. 1966.
- Kolakowsky, L.. Positivist Philosophy; from Hume to the Vienna Circle. Ed. Penguin Books. England. 1968.
- Lagrange, J.L.. Mécanique Analytique. París. 1853. (Reproducción por la colección "Los clásicos de la ciencia". México. 1963).

Landau, L.D. y E.M. Lifshitz. Fluid Mechanics. Ed. Pergamon Press. Great Britain. 1975.

Leibnitz, G.W. Escritos Filosóficos. Ed. Charcas. Buenos Aires. 1982.

Mach, E.. Análisis de las sensaciones. Daniel Jorro Ed. Madrid. 1925.

—: The science of mechanics. The Open Court Publishing Co. La Salle. Illinois. 1960.

McKinsey, J.J.C., A.C. Sugar y P. Suppes. "Axiomatic Foundations of Classical Particle Mechanics". Journal of Rational Mechanics and Analysis, t.2. nro 2. 1953.

Moulines, G.U.. "A logical Reconstruction of Simple Equilibrium Thermodynamics". Erkenntnis. Vol 9. nro 1. 1975a.

—: "Zur Logischen Rekonstruktion der Thermodynamik : Eine Wissenschaftstheoretische Analyse ". München : [S.N.] , 1975b. Tesis = Ludwig-Maximilians-Universität zu München.

—: "La génesis del positivismo en su contexto científico". Diánoia. México. 1975c.

—: "Reconstrucción estructural de teorías físicas" en Revista Latinoamericana de Filosofía. Vol III. nro 2. Julio de 1977a.

—: "Sobre el problema del 'atomismo geométrico' en Epicuro". En Diánoia. Anuario de Filosofía. pp. 1-12. UNAM/Fondo de Cultura Económica. México. 1977b.

—: y J.D. Sneed. "La filosofía de la física de Suppes". En Lecturas Filosóficas 6. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 1980.

—: Exploraciones Metacientíficas. Alianza Editorial. Madrid. 1982.

Pao, R.H.F.. Fluid Mechanics. Ed. John Wiley and Sons. USA. 1961.

Popper. La lógica de la Investigación Científica. Ed. Technos. Madrid. 1967.

Robles, J.A. "Percepción e infinitesimales en Ferkeley". Sobretiro de Diánoia. pp. 151-177. México. 1980.

Santeló, L.A.. Vectores y tensores. Ed. Universitaria. Buenos Aires. 1961.

Schilpp, P.A..(ed.) The Philosophy of Rudolf Carnap. Ed. The Library of Living Philosophers. La Salle. Illinois. 1963.

Shames, I.H.. Mechanics of fluids. Ed. McGraw-Hill. USA. 1962.

Sneed, J.D.. The logical structure of mathematical physics. Ed. Reidel. Dordrecht. 1961.

Stegmüller, W.. The structure and dynamic of theories. Ed. Springer. New York. 1976.

—: The structuralist view of theories. Ed. Springer. Germany. 1979.

Suppes, P.. "What is a scientific theory?" en Philosophy of Science Today (comp. S.Morgenbesser). Basic Books. pp. 55-67. New York. 1967.

—: "Some remarks on problems and methods in the philosophy of science". Philosophy of science 21. 242-248. 1954.

—: Introduction to logic. Van Nostrand. New York. 1957.

Truesdell, C.. Essays in the history of mechanics. Springer. Nueva York. 1968.

Taton, R.. History of Science. Ed. Basic Books. New York. 1964.

Waismann, F.. "Wittgenstein y el Círculo de Viena". Ed. Fondo de Cultura Económica. México. 1973.

Williams, M.B.. "Deducing the consequences of evolution: A mathematical model". En J.Theor.Biol. 29. 343-385. 1970.

Wittgenstein. Tractatus Logico-Philosophicus. Trad. Tierno Galván. Ed. Revista de Occidente. Madrid. 1957.

Wolf, A.. A History of Science, Technology and Philosophy in the eighteenth century. Ed. George Allen y Unwin. London. 1952.

Yavorski, B.M. y A.A.Detlaf. Manual de Física. Ed. MIR. Moscú. 1972.