

01071.
ley.º 2.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

UN MODELO PARA LA ENSEÑANZA DE LA FISICA

(DESDE LA PERSPECTIVA DE LA PSICOPEDAGOGIA Y LA EPISTEMOLOGIA DE LA FISICA)



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ENSEÑANZA SUPERIOR.

presente

Fernando Flores Camacho
México, D.F. 1986

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
CARRERA DE PSICOLOGIA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



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 está 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

Introducción	1
PRIMERA PARTE	
CAPITULO I. HISTORIA DE LA FISICA Y EDUCACION	1
La construcción del conocimiento físico. Desarrollo - histórico	5
CAPITULO II. ESTRUCTURA DE LA TEORIA FISICA	43
CAPITULO III. EXPERIENCIA, PERCEPCION Y CREENCIA - EN FISICA	64
La experiencia en la Física	64
Percepción y creencia	73
La medición	79
CAPITULO IV. EPISTEMOLOGIA Y ENSEÑANZA DE LA FISICA ...	87
Los conceptos físicos	87
Elementos que aporta para la enseñanza, el estudio - epistemológico	99

PARTE II

CAPITULO V. PSICOPELAGOGIA: LOS PROCESOS COGNOSCITIVOS	108
Modelos cognoscitivos y enseñanza de la física	108
Teoría de la psicología genética en relación a la enseñanza de la física	117
Directrices para la enseñanza de la física	131
CAPITULO VI. CONCLUSION: DIRECTRICES PARA LA ENSEÑANZA DE LA FISICA	137
Elementos del análisis de la epistemología de la física - y la psicopedagogía y su significación para la enseñanza..	137
Relación con los elementos epistemológicos y - psicopedagógicos	154
Un ejemplo para la enseñanza superior: La refracción - de la luz	158
Notas	166
Bibliografía Básica	174
Bibliografía Complementaria	184

INTRODUCCION

Es bien conocido, que uno de los principales problemas de la educación se presenta en la enseñanza de las ciencias. En especial - este problema es más agudo en la Física y en las Matemáticas.

Muchos han sido los esfuerzos realizados para resolver este problema en todos los niveles escolares, destacándose por la magnitud de los proyectos, los correspondientes al nivel Medio Superior (High School). Entre ellos podemos destacar el PSSC (Physical Science Study Committee), el Project Physics Course de Harvard; el Nuffield Physics Course (Nuffield Foundation de Inglaterra) y en Latinoamérica el Proyecto Piloto de Física de la UNESCO.

Pero a pesar de todos estos esfuerzos, el problema de la enseñanza de la Física sigue presente con gran intensidad y por consiguiente el rechazo de los alumnos de niveles Medio Superior y Superior en las carreras que tienen en sus programas tópicos de Física se continúa manifestando.

En la Enseñanza Superior, los proyectos de gran magnitud son muy pocos, seguramente por la naturaleza misma de este tipo de enseñanza, en donde no hay sistemas nacionales de educación y los programas y formas de enseñanza varían en cada escuela. Sin embargo - no deja de ser interesante resaltar que a pesar de las diferencias entre universidades y entre carreras, la enseñanza de la Física, - sigue presentando grandes dificultades para su aprendizaje.

En las soluciones que se han propuesto a todos los niveles y en los diversos proyectos generales, podemos encontrar en diversos grados tres aspectos principales:

Uno es el tomar como base para las propuestas, una concepción psicológica de aprendizaje. Un segundo aspecto, es hacer una ordenación cuidadosa de los contenidos, estableciendo para esto un orden de complejidad creciente así como una secuencia lógica entre los contenidos de las diversas áreas de la Física. El tercer aspecto, es la utilización de técnicas didácticas establecidas en función de los contenidos. De hecho, en la Pedagogía se apunta que el contenido de alguna manera es el eje sobre el que se centrarán todos los aspectos de la enseñanza-aprendizaje.

Ahora bien, del fracaso reconocido de los diversos proyectos y alternativas educativas propuestas para la enseñanza de la Física, parece entreverse que el problema real está en los contenidos mismos y no tanto en una forma de organización y presentación al estudiante. Esto presenta un camino distinto, en el que es necesario en primer término, realizar un análisis de los contenidos de la Física, esto es, de sus características, sus formas de relación, de corroboración, de estructuración y de generación. Así, el establecimiento de cómo se construyen los conceptos físicos y bajo qué características, podría proporcionar elementos sobre los cuales se generará una perspectiva diferente para la enseñanza de la Física.

Pensamos que, a partir de un análisis epistemológico de la Física, se pueden aportar elementos centrales para su enseñanza y además, como algo fundamental se pueden establecer semejanzas y diferencias entre los conceptos formalizados de la Teoría Física y los elementos de los estudiantes.

Por otra parte, para que esa comparación pueda establecerse es también indispensable el análisis psicológico del conocimiento. Por ello un estudio psicológico o en general psicopedagógico en relación con la epistemología de la Física puede proporcionar las bases cognoscitivas para atacar el problema de la enseñanza de la Física, en los distintos niveles educativos.

Con lo expuesto anteriormente, no se pretende excluir ni restar importancia a todos los demás factores que intervienen en el proceso de enseñanza-aprendizaje como son las relaciones o aspectos sociales, los económicos, los culturales, religiosos, ideológicos y morales; que deben de contemplarse en la elaboración de los currículum y procesos educativos en general.

El estudio realizado, se ha centrado en el aspecto cognoscitivo - por ser el más estrechamente vinculado con la construcción del conocimiento físico y su estructura teórica y el que de entrada puede presentar un problema insalvable si no se determinan aunque sea de forma muy elemental, la estructura de conocimiento necesario - para abordar la construcción teórica formal de la Física. Esto implica, el poder hacer compatibles la epistemología desarrollada con una psicología del conocimiento para poder a través de una psicopedagogía centrada en ésta, generar alternativas educativas que vayan estableciendo en el sujeto cognoscente las formas de pensamiento necesarias para abordar la Teoría Física.

Con este marco o modelo epistemológico y psicopedagógico para la enseñanza de la Física a niveles Medio Superior y Superior, resulta de gran ayuda el apoyarse para las alternativas educativas en la Historia de la Física. Ya que debido a los niveles educativos -

mencionados, los sujetos cognoscentes tienen información y formas de pensamiento con cierto grado de elaboración, por lo que hacen posible el utilizar a la Historia de la Física como un elemento heurístico en donde algunas situaciones pueden presentarse efectivamente como problemas significativos al estudiante.

Dada la concepción del problema de proponer directrices generales para la enseñanza de la Física a partir de un análisis de la propia epistemología de la Física y su relación como una concepción psicológica del conocimiento, se desarrolló este estudio con la siguiente estructura:

PRIMERA PARTE

En el primer capítulo se realiza una breve descripción del desarrollo histórico de la Física con la finalidad de presentar un panorama evolutivo de las concepciones físicas, así como de la estructura que conforma la teoría científica, para con ello poder tener una visión general de este proceso y pasar al estudio de las características de los conceptos físicos y de la explicación científica.

El siguiente capítulo establece el análisis de la estructura de la Teoría Física, como un proceso formal de conocimiento que por consiguiente genera formas de validez de sus conceptos y de sus mecanismos de análisis.

En un tercer capítulo, se estudian las características de los conceptos físicos y de la experiencia en Física.

En un cuarto capítulo se da unidad a la generación de los conceptos físicos y su estructuración en la Teoría Física para determinar los elementos que hacia la educación son aportados por el análisis epistemológico de la Física.

SEGUNDA PARTE

La segunda parte, estará constituida primero por el estudio de los elementos que se pueden encontrar en la Psicopedagogía y que son compatibles con la epistemología desarrollada.

Finalmente a manera de conclusión se presentan los elementos, que la relación establecida entre la epistemología de la Física y la Psicopedagogía aportan, como elementos rectores para la enseñanza de la Física, así como un ejemplo de un posible desarrollo para la enseñanza de una tema específico de la Física (la refracción de la luz) en el cual se contemplan los elementos encontrados.

PRIMERA PARTE

CAPITULO I

HISTORIA DE LA FISICA Y EDUCACION

La perspectiva de la historia de la Física en la Educación

La historia de una ciencia tiene un especial interés para la educación. Ese interés se basa en que la historia de dicha ciencia, puede proporcionar elementos para comprender la construcción de los conceptos, con lo que se pueden generar alternativas educativas para lograr una mejor aproximación conceptual del alumno. Lo anterior presupone el descartar a la historia de una ciencia como una colección de anécdotas curiosas, así como también el simple relato y la repetición de experimentos que han sido considerados como decisivos en la evolución de la ciencia que se estudia.

Las aportaciones que la historia de una ciencia en nuestro caso la Física proporciona, trascienden a los simples hechos, aportando elementos para la comprensión de la elaboración de la ciencia y del pensamiento generado al interior de esa ciencia, debido a que brinda aspectos indispensables para el estudio de la génesis y estructura de los conceptos físicos. Con esas aportaciones estructuradas adecuadamente, se puede ofrecer al estudiante situaciones que le permitan generarse el pensamiento científico y por consiguiente, los propios conceptos físicos, es decir, su conocimiento de la Física.

En la Historia de la Física, se encuentra el proceso continuo con éxitos y fracasos que la perspectiva científica realizó en la construcción del conocimiento; A. Koyré escribe: "Desde el comienzo

de mis investigaciones, he estado inspirado por la convicción de la unidad del pensamiento humano: me ha parecido imposible separar, en comportamientos estancos, la historia del pensamiento filosófico y la del pensamiento religioso... Pero había que ir - más lejos. He tenido que convencerme rápidamente de que del mismo modo era imposible olvidar el estudio de la estructura del pensamiento científico¹.

Como se ha esbozado, la Historia de la Física proporciona elementos que van más allá de la coherencia estructural en el desarrollo de los conceptos que caracterizan en su conjunto a la historia del pensamiento. Los elementos de pensamiento que se van generando en las distintas épocas se constituyen en términos generales, por las posibilidades de acción y de estructura lógica de pensamiento que cada época, cada tiempo proporcionaba en su visión general del mundo. No hay que perder de vista, que esos elementos de pensamiento característicos de una época, están determinados por la ideología que le es propia y a la que a la vez conforman. Efectivamente, la visión o mejor dicho imagen del mundo que en esa época se forma, está determinada por la ideología generada en esa época. Esta ideología se encuentra en las formas de vida (colectivas e individuales); costumbres, valores y creencias, así como en las formas de pensamiento y por consiguiente de interpretación de la realidad percibida y de la técnica generada. Cabe aclarar que todos estos aspectos no están separados, se interrelacionan para formar el contexto histórico en el que se construye el pensamiento de una época.

¹ Koyré A. Estudios de historia del pensamiento científico. Pág. 4

Los elementos de pensamiento que se encuentran en las distintas épocas y que se conforman integralmente en base a las ideas y - creencias de cada época, proporcionan información de la manera, de la forma en que los conocimientos científicos fueron elaborados; es decir, bajo qué condiciones se dió esa elaboración, así como qué bases epistemológicas los sustentan para poder posteriormente en forma integradora, ir avanzando en la construcción de un modelo, una teoría científica de la naturaleza cada vez más formalizada y más evidente.

"En efecto, no sólo los estados sucesivos de la construcción de - las diferentes formas del saber son secuenciales, es decir, que cada uno es a la vez resultado de las posibilidades abiertas por el precedente y condición necesaria de la formación del siguiente sino, además cada nuevo estadio comienza por una organización, a otro nivel, de las principales acciones logradas en los precedentes. De aquí resulta una integración, hasta los estadios superiores, de ciertos vínculos cuya naturaleza no se explica sino a través de un análisis de los resultados elementales"².

Lo expuesto hasta este momento, induce a resaltar un aspecto que - en muchas ocasiones ha falseado la labor seria de los que en épocas pasadas elaboraron conocimiento físico. A saber, la posición simplista de suponer absurdas y carentes de seriedad muchas de las conclusiones o de las premisas a las que se llegaba o partía en una investigación. El que muchas de esas ideas parezcan absurdas actualmente, es una consecuencia de la visión y los recursos técnicos y

² Piaget J. ; García R. : Psicogénesis e historia de la ciencia. Pág. 9

de pensamiento tan distintos con los que contaban entre una y - otra época.

Para juzgar la labor pasada, hay que tomar en cuenta los aspectos interpretativos y de conceptualización dentro de la ideología propia, los niveles de problemática y algo fundamental pero que pocas veces se toma en cuenta con la importancia que tienen, los instrumentos de medición y formas de control experimental con que contaban para sus interpretaciones. Esto último que mencionamos es muy importante, puesto que la medición y el control que se establecen en la cuantificación de los observables físicos, implica toda una elaboración conceptual que está más allá del instrumento, dado que éste es la concretización de ideas que en muchas ocasiones no han podido ser precisadas (como el caso del espacio y del tiempo) aunque podamos medirlos. Epistemológicamente, se requiere una serie de premisas y elementos de pensamiento que son los mismos que conforman la construcción del conocimiento científico.

Es por los argumentos anteriores, que la Historia de la Física, es un elemento heurístico muy importante para el diseño de experiencias con finalidad educativa. No en el esquema de reproducir "experimentos cruciales", sino en poder ofrecer una secuencia didáctica de experiencias que proporcionen una manera más significativa de aprender la formulación de los conceptos físicos, formalizando en el estudiante los elementos de pensamiento necesarios.

Con la perspectiva apuntada, se presenta una breve revisión de la evolución de la Física; presentando sólo aspectos o momentos en que se muestre lo más claramente posible, la construcción del conocimiento físico.

LA CONSTRUCCION DEL CONOCIMIENTO FISICO. DESARROLLO HISTORICO.

En verdad que resulta imposible el determinar como fue en los origenes de la civilización, la adquisición de conocimientos y estructuras mentales con los que el hombre modificó por medio de la técnica creada su forma de vida. Pero sería erróneo dejar a la casualidad el descubrimiento de sus utensilios, como si por un producto del azar, se hubieran podido reunir un conjunto suficiente de tales utensilios, concretándose la acción del hombre en recolectarlos y sólo después de tal hecho, sistematizarlos en un conjunto de observaciones y prácticas que le permitieron ir perfeccionando esos objetos.

Cabría aclarar, que el descubrimiento y la invención son procesos contiguos, integrados, entre los cuales no existe una barrera definida. Es por otro lado probable, que algunos de los más primitivos utensilios sean producto en una fase primaria del azar, pero - el inmediato reconocimiento de su utilidad y su inferencia analógica a otras acciones, implica un proceso de pensamiento, el uso de un proceso lógico como lo es la analogía. Además hay la acción - de una estructura de pensamiento con la cual se pudieron realizar acciones para modificar y perfeccionar el incipiente descubrimiento. Aparece en ese proceso mental la necesidad de la prueba, del ensayo que se transforma en experiencia (mental y actuante) siempre retomada, que en esta primera etapa de la humanidad constituye ya, un corpus de habilidades de pensamiento creados.

"Cambios primarios y cambios libres tienen su base en el descubri-

miento, pero variaciones adaptadas, cambios numéricos y cambios - transferidos (cross - mutation) son dependientes en forma directa en mayor o menor grado, del término invención en el estricto sentido que debe ser aplicado el término"³. H. Harrison, describe los términos empleados de la siguiente manera: a) Cambios primarios (primary mutation), se refiere a que un objeto natural, sufre una modificación que lo convierte en artefacto. b) Cambios libres (free - mutation), se refiere a un verdadero descubrimiento esto es, cuando se encuentra la utilidad de algo para otra cosa. c) Variaciones adaptadas (variations), es realizar modificaciones a un artefacto para obtener otras características. d) Cambios - numéricos (numerical - mutations), cuando se van añadiendo o quitando características. e) Cambios transferidos (cross - mutation), son adaptaciones a los artefactos para realizar otro tipo de funciones que no serían posibles sin la adaptación.

Los cambios en los artefactos que Harrison describe bajo el término invención, son búsquedas intencionadas y no azarosas, que muestran la comprensión operativa y por tanto una capacidad descriptiva de los artefactos. Esto es ya, un conocimiento adquirido.

Un ejemplo de lo anterior, en el cual se manifiesta un proceso de pensamiento estructurado que implica incluso una concepción de cambio, de movimiento, lo constituye la forma de medición del tiempo. En el proceso de la construcción de relojes de sol puede verse el nivel estructural del conocimiento en esa época. El poder construir relojes de sol, implica el determinar el movimiento de una -

³ Harrison H.S. Discovery, invention, and diffusion en A History of Technology Vol. I Pág. 75

estrella en diversas épocas del año para con ello poder establecer una escala, dependiendo del lugar de los habitantes.

No sólo es importante tomar en cuenta la construcción de los relojes, sino poner atención a la posibilidad de operacionalizar una noción como el tiempo. El poder establecer además, un isomorfismo entre el tiempo (un continuo) y el número. Un reconocimiento similar puede establecerse para la medición de concepciones como longitud, área, peso, etc. . Los cuales requieren algo que va más allá de la simple operacionalidad de una habilidad técnica que hace posible la manufactura de utensilios.

Sarton escribe; "Hay que recordar que la historia de los instrumentos es uno de los mejores medios de comprender el progreso científico, pero es sumamente difícil, pues ninguno de ellos aparece creado de una sola vez, ni por un sólo hombre, sino que fueron desarrollándose paso a paso".

Ahora bien, la construcción de este tipo de instrumentos de medición juega un doble papel, ya que aparte de ser la concretización de una idea, establece las posibilidades de interacción con la naturaleza y por consiguiente, las posibilidades de conocimiento.

La medición y el establecimiento de conocimiento interrelacionado con ella, comienza a cobrar mayores dimensiones en las civilizaciones firmemente establecidas como la Egipcia y la Babilonia, en donde ya se encuentran formas estandarizadas de medición y sistemas de unidades. No es de extrañar una tecnología altamente de-

sarrollada, pues técnica e intelectualmente, hay más posibilidades de acción sobre la naturaleza. Sólo así fue posible el generar - un sistema diferente de vida y por ende, una concepción compleja - del mundo.

Entre los Babilonios, el desarrollo de las Matemáticas y la Astro-nomía, había alcanzado un alto nivel de descripción y operaciona-lización. Sus procesos de manufactura muestran una especialización que sólo es posible explicarla, como el producto de una intensa in-vestigación sobre los procesos. Es evidente, que en estas civili-zaciones se había rebasado el conocimiento utilitario inmediato, para establecer una base más sólida, que permitiera una comprensión y acción mucho más duradera.

Un caso sorprendente, lo constituye la ingeniería egipcia, donde - se descubre una mecánica muy desarrollada, con la cual se hicieron cosas tan sorprendentes como las famosas pirámides, que los inves-tigadores más serios no han podido esclarecer dadas las enormes di-ficultades de construcción y de organización humana. "La gran pi-rámide la más grande las tres en Giza, fue construida una centuria después de la cuarta dinastía por Kufu (Cheops); ésta fue la cons-trucción más grande de los tiempos antiguos y una de las más gran-des edificaciones del hombre. Cada lado mide aproximadamente -- 775 ft, y cuando permanecía intacta tenía 480 ft de altura. Las pirámides erigidas como casa y protección de las tumbas reales, son estructuradas de bloques de piedra caliza, de construcción sólida excepto por la cámara funeral y los diversos pasajes interiores.

La construcción de esas inmensas edificaciones de hace cuarenta y nueve centurias, tienen un número de problemas técnicos, muchos de

los cuales no han sido resueltos. Como los arquitectos de Cheops pudieron diseñar y construir tales edificaciones, rebasa la imaginación"⁵.

Extrañamente, no se ha considerado la existencia de una verdadera ciencia en esas civilizaciones; por el contrario, hay una difundida opinión de que la ciencia comienza con los pensadores griegos. "Fueron los griegos como sabemos, quienes inventaron la ciencia. En la antigua Babilonia, en Asiria y en Egipto, en la antigua China e India, la tecnología se había desarrollado en ocasiones a un nivel de asombrosa eficacia, pero por lo que sabemos, no iba acompañada de ningún sistema de explicación científica... Los griegos inventaron la ciencia natural al buscar la permanencia intangible impersonal, que subyace en el mundo cambiante y al describir la brillante idea del uso generalizado de la teoría científica"⁶. Estas expresiones de Crombie, sintetizan admirablemente esta concepción, más ¿qué las justifica?, ¿es que se pueden desligar la ciencia de la tecnología como dos cosas ajenas?. Ello no es posible, pues no hay ciencia que estudie a la naturaleza que no sea experimental, es decir, que requiera de situaciones creadas y mediciones buscadas, las cuales sin una técnica que las soporte serían irrealizables; pero a la vez, estas necesidades de medición y experimentación, generan nuevas técnicas aumentando la riqueza tecnológica de una civilización.

"Algunos lectores tienen en sus mentes el prejuicio de que la cien

⁵ Sarton G. A history of Science. Vol. I Pág. 30

⁶ Crombie A. C. Historia de la física. Vol. I Pág. 20-21

cia es una invención griega, insisten y dicen << pudo haber ciencia, pero no ciencia pura >>. ¿Por qué no?. Yo estoy seguro de que los egipcios no sólo habían alcanzado un estado que les permitió realizar tratados matemáticos y médicos por simples hombres que vivieron hace cientos de años antes, fueron realmente científicos puros, esto es, hombres movidos por una intensa curiosidad tal que los resultados prácticos y de frutos inmediatos de sus investigaciones representaban un aspecto secundario para ellos... Si de interés es el criterio de la ciencia pura, nosotros podemos decir que la ciencia nunca ha sido completamente pura, como tampoco completamente impura⁷. No podemos olvidar que al hablar de historia de la ciencia, hay que reconocer los niveles alcanzados por las diversas civilizaciones en relación a los medios tanto técnicos como intelectuales (principalmente, concepción del mundo y formas lógicas de pensamiento) que tenían, para poder así, juzgar el estado de sus ciencias. Porque frecuentemente ocurre el absurdo de pretender que se deberían de haber obtenido los mismos resultados e interpretaciones que los actuales.

A pesar de todo, los griegos ocupan un papel sumamente importante en el desarrollo de la ciencia, porque aunque reconocemos que en épocas y civilizaciones anteriores hubo verdadera investigación científica e importantes logros técnicos, es con los pensadores griegos y fundamentalmente con Platón y Aristóteles que se fundamenta todo un sistema de pensamiento con el que se elaboró posteriormente la "Teoría", teoría que hizo posible una ciencia formal. Por otro lado, no hay que olvidar las aportaciones en el aspecto conceptual (sobre

⁷ Sarton G. A history of Science. Vol. I Pág. 49

los fenómenos físicos y no así los aspectos ontológicos ni epistemológicos) y técnico; en lo tocante a éste conocimiento científico y técnico aparecen los primeros grandes trabajos de ordenamiento, síntesis e innovación y que fueron fundamentales para la dirección que tomó la ciencia. En el otro plano, la reflexión sobre el propio conocimiento, su construcción y su valor, llevó a las grandes formulaciones lógicas que darían el estado de primacía al conocimiento científico.

Así, de entrada nos encontramos con un principio de unidad, "La intrépida idea de la existencia de un elemento primario. Esta idea de la unidad cualitativa de la materia constituye el principal mérito de Tales"⁸. O como Crombie escribe: "El propósito de su investigación, es descubrir la realidad permanente e inteligible detrás de los cambios experimentados por el mundo percibido por los sentidos. De hecho, ese mismo problema había sido la preocupación principal de los filósofos de la antigua Grecia, y su respuesta había sido el concepto de << substancia >> como la idea permanente a través del cambio. Platón había reconocido esa identidad como la idea universal o << forma >> de una cosa y Aristóteles tomó ésta idea de Platón, aunque la modificó en varios puntos importantes"⁹.

Efectivamente, con los griegos comienza a estructurarse una forma de pensamiento especial que permitía el estudio, la interacción con la naturaleza que se manifestaba como un problema de conocimiento

⁸ Ginestra A. The natura of matter. Pág. 17

⁹ Crombie A.C. Historia de la Ciencia. Vol. I Pág. 69-70

distinto al estudio del hombre mismo. La naturaleza no daba respuestas, había que hacerlas.

La obra de Platón cobra aquí especial importancia, puesto que su formulación de la << forma >>, en un plano ideal, no es más que el darse cuenta de la necesidad de una elaboración mental, con la cual crear otra forma conceptual (teoría) que permitiera generar preguntas y respuestas en función de un modelo coherente estructuralmente y por consiguiente, asequible a todo pensamiento que cumpliera ciertos requisitos. El poder pasar de la simple experiencia sensible, a la elaboración de un concepto (idea) que forma parte de un modelo (estructura formal) específico (mundo ideal). Pero para ello, había que desarrollar una estructura de pensamiento. Aristóteles se aproximará a ella posteriormente con su lógica.

Platón, nos dice en el diálogo Teeteto "Sócrates - ciertamente - la ciencia no descansa en las impresiones, sino en el razonamiento ejercido sobre ellas. Usando de este razonamiento, según parece, pueden alcanzarse el ser y la verdad, pero resultaría imposible por cualquier otro medio (186 a)... Podría ocurrir que - los elementos (tierra, aire, agua y fuego) fuesen irracionales e incognoscibles, pero aprehensibles por los sentidos; de lo que si no cabe duda es de que sus sílabas serían cognoscibles, expresables y aptos para el juicio de una opinión verdadera. Por tanto, cuando alguien se forja una opinión verdadera de algo aún sin llegar a intuir su razón, su alma vislumbra ya la verdad sobre ésto, pero no posee todavía su conocimiento (201 e)"¹⁰.

¹⁰ Platón. Teeteto. Obras Pág. 923 y 934

Platón adjudicará a esos elementos (cualesquiera) incognoscibles, una forma, una expresión dentro de una construcción ideal, es decir, una teoría. Efectivamente, Platón, se da cuenta de que las sensaciones percibidas no bastan para establecer el conocimiento además de que por sí solas, las cosas que se perciben sólo se nos presentan sin relación alguna en un orden específico, son en este sentido incognoscibles. Por ello, la necesidad de darles una estructura en un estado de perfección que por ello es ideal, pero - que es al que podemos remitirnos para dar aunque sea por analogía una descripción y hasta una explicación de lo que es percibido.

Por su parte, Aristóteles dió forma a esa construcción ideal, le dió una estructura racional de pensamiento con la cual poder establecer el conocimiento a partir del modelo que a su vez, es indiscutible de la percepción en forma estructurada. Así, Aristóteles creo el pensamiento lógico o lo que ahora se conoce como < lógica formal > .

Con las aportaciones de Platón y Aristóteles, se estableció una - forma de conocimiento que permitía ir más allá de el encontrar relaciones proporcionales de los observables interrelacionados en - un proceso físico. Con ello se crean las bases epistemológicas para la formalización de el conocimiento científico. Los griegos posteriores a Platón y Aristóteles, comenzaron a concretar un proceso, elaborando "formas" o teorías que cumplieran con los requisitos de coherencia lógica que plantearon Platón y Aristóteles. Hay que hacer notar que tanto platón como Aristóteles, nunca pierden - de vista el valor ontológico de la percepción del evento físico, sin éste, no hay forma de establecer una génesis de pensamiento que cobre en la idea la aproximación a un concepto verdadero.

Lo anterior, la idea de un mundo estructurado de Platón y la lógica aristotélica permitieron que los griegos desarrollaran en muchos aspectos, una concepción completa en determinados campos, como la estática y la óptica geométrica. No es difícil comprender el enriquecimiento mutuo que se generó entre la física y la geometría. Su interrelación radica en que ambas son una forma de describir las cosas bajo una concepción estática. El movimiento no se hace presente, no había forma de determinarlo y por consiguiente, su conceptualización, procedía más de una inferencia analógica que de un soporte experimental; no es por ello extraño, que los completos tratados de Aristóteles, cuya estructura lógica es admirable, fallacen en el tratamiento del movimiento. Lo anterior no quiere decir que los griegos no hayan tratado el problema del movimiento, de hecho en Parménides se encuentra admirablemente expuesto, y llega a ser un principio bajo el cual se explica su mundo. Sin embargo, esto no apuntaba los elementos necesarios para un tratamiento del movimiento físico, estableciendo en él sus variaciones, sus proporciones y sus relaciones causales.

Puede establecerse, que la mecánica fue una de las ciencias que más se desarrolló en la ciencia griega y que los mecanismos con ella formulados permitieron la construcción de artefactos que implicaban una tecnología sorprendente en su concepción. Así mismo, la óptica y la astronomía alcanzaron una formulación coherente. Puede encontrarse una compleja elaboración debido a que se pudo establecer una estrecha relación entre la formulación lógico matemática y la interpretación de una realidad dada, cuyo soporte es la experiencia buscada, fabricada, es decir, experimentada.

El no tomar todos esos elementos en el análisis de la ciencia de

la antigüedad, falsea el trabajo de los antiguos investigadores y con ello se asumen dos peligros.

El primero es el calificar de poco serio el trabajo realizado y - hasta cierto punto de iluso, porque se aleja aberrantemente de nuestras explicaciones.

El segundo es aún más riesgoso, es el que impide valorar epistemológicamente la labor desarrollada con el correspondiente riesgo de - falsear la estructura de pensamiento inherente a la formulación de los conceptos involucrados; con ello, se pierde la riqueza epistemológica y pedagógica que esas investigaciones puedan aportar.

Un ejemplo, lo constituye el trabajo de Ptolomeo (siglo II d.J.C.) sobre óptica.

Ptolomeo, diseñó una forma experimental para probar y establecer - definitivamente la ley de reflexión de la luz y explicar así la formación de la imagen de un espejo, lo que realizó correctamente pero también analizó el fenómeno de refracción, como en el caso anterior con el diseño de un dispositivo experimental y obteniendo amplios - registros numéricos, sin embargo, los resultados que obtuvo, no concuerdan con la actual expresión de dicho fenómeno, por ello, se ha criticado negativamente este trabajo de Ptolomeo calificándolo de - ingenuo, poco preciso y sobre todo de un gran prejuicio teórico que le obligó a confiar más en su argumentación de tipo matemático que en la evidencia física. Que el trabajo de Ptolomeo en este aspecto es serio, lo muestra el siguiente fragmento de su trabajo: "Vamos ahora a mostrar como ocurre: (1) Este tipo de doblamiento (refracción) de los rayos visuales no ocurren en todos los líquidos, - ni en todos los medios raros*, sino que una definida cantidad de do

* Se refiere a la poca densidad de los medios en que se propaga la luz.

blamiento ocurre en el caso de medios que tienen alguna diferencia con relación al medio en el cual viajan los rayos visuales, y en donde la penetración tiene lugar. (2) El rayo visual permanece a lo largo de una línea recta y puede quebrarse naturalmente solamente en la superficie que forma una frontera entre dos medios de densidades diferentes. (3) El doblamiento ocurre no solamente en el paso de un medio raro o poco denso a uno denso, sino también al pasar del medio denso al raro (rarificado), y (4) Este tipo de doblamiento no es a ángulos iguales, sino que los ángulos medidos desde la perpendicular, tienen una definida relación cuantitativa¹¹.

Este fragmento, muestra en forma clara la seriedad experimental del trabajo de Ptolomeo. Ahora bien, la relación que de sus datos experimentales obtuvo no concuerda con la actual, de hecho él infirió una relación de proporcionalidad directa, en lugar de las funciones senoidales con las que se expresa la refracción.

Pero, si realizamos la experiencia con los medios que tiene un estudiante de bachillerato o de primeros años de facultad, se encuentra que en buena medida, parece tenerse una relación lineal. Si ahora pensamos en los instrumentos con los que puedo contar Ptolomeo, la sorpresa de su fallo se desvanece, mientras que se confirma su gran esfuerzo y su auténtico pensamiento científico.

En general, el trabajo científico de todos los griegos es de una enorme riqueza en donde puede encontrarse un panorama que muestre la génesis del pensamiento científico y la construcción de la ciencia; así mismo, proporciona elementos que pueden utilizarse para es

¹¹ Ptolomeo. An investigation on refraction. Optics V, tomado de Cohen y Drabkin A source book in Greek Science. Pág. 149-150

tablecer una secuencia didáctica, proporcionando además importantes elementos a contradicción que obliguen a pensar un poco más allá sobre los procesos físicos como les sucedió a los pensadores griegos.

Un aspecto muy importante de la época griega, es que se comienza a buscar la unidad en la construcción de la Física, se buscan casos y principios de carácter universal bajo los cuales poder ofrecer una visión coherente de la realidad y en general de sus causas, por ello, el buscar la formulación en armonía con la matemática, que permitiera así la expresión universalizada. Ello llevó a varios problemas entre otros, el significado y la correspondencia de la teoría con lo real, problema que tiene su mejor representante en Platón (lo que se verá adelante). Por otro lado se presentan los problemas de la consistencia de verdad y de un principio de causalidad que formulara brillantemente Aristóteles. Con los griegos se cierra una etapa decisiva para el posterior desarrollo de la ciencia y que radica fundamentalmente en sustentar el conocimiento científico y sus formas de obtenerlo.

El siguiente texto de Pappus, es un claro ejemplo de la concepción de la ciencia para los griegos: "La ciencia de la mecánica, mi querido Hermodoro, no es únicamente útil para los mecanismos prácticos sino que es justamente estimada por los filósofos y diligentemente cultivada por quienes se interesan en las matemáticas, puesto que se relaciona (conciérne) fundamentalmente con la doctrina de la naturaleza, con especial referencia a la composición material de los elementos en el cosmos. Por ello, examina cuerpos en reposo, su tendencia natural y su movimiento en general, no solamente asignando causas de movimiento natural, sino proporcionando medios de forzar a los cuerpos a cambiar de posición contrarios a sus na-

turalidades, en una dirección diferente de su natural. En ésto, la ciencia de la mecánica usa teoremas por medio de la consideración de la materia misma¹².

Finalmente Cohen y Drabkin, expresan. "El interés del griego antiguo en la naturaleza que se manifiesta en su filosofía, no fue puramente especulativo. Las antiguas teorías de las escuelas Jónica e Itálica son siempre conocidos con las derivaciones de la naturaleza, en atención a explicar los fenómenos sobre la base de leyes, en algunos casos leyes de formulación matemática"¹³.

Con la Escuela de Alejandría, se cierra la ciencia griega. Los romanos poco hicieron a este respecto, concretándose a respetar la Escuela Alejandrina y valorar las obras griegas, centrando su atención en la política, la moral y fundamentalmente, el establecimiento de las formas que adoptaría el cristianismo en el mundo helénico y que fue realizada por los "padres de la iglesia" en todo el desarrollo filosófico que conforma la Patrística. Dentro de este estado de cosas comienza el período conocido como Edad Media. Ha sido un pensamiento dominante, el que en la Edad Media, no floreció nada más que el cristianismo y el feudalismo, quedando la tecnología y las ciencias sumidas en abismo profundo. "Muchos temas de estudio parecieron trabajar allí hasta su propia extinción. La geometría, que al principio había hecho tan magníficos progresos, vino a tal aniquilamiento; el álgebra difícilmente sobrevivió; la

¹² Pappus. Mathematical Collection VIII 1-5 tomado de: Cohen y Drabkin. A source book in Greek Science. Pág. 183

¹³ Cohen y Drabkin. A source book in Greek Science. Pág. 182

Física, que tuvo tan feliz comienzo, había sido estrangulada casi al nacer; la Astronomía después de haber logrado el mejor de los comienzos, tomó rumbo equivocado en la época de Aristarco y continuaba entonces marchando por caminos erróneos¹⁴.

Sin embargo, la misma historia muestra que no ocurrió así, y que por el contrario, en la Edad Media (siglos XII y XIII), se establecieron las bases para la forma de pensamiento (profundamente - experimental) que hizo posible la construcción de la Física por Galileo y Newton.

Es verdad, que en la Alta Edad Media no se logró como hubiera sido de esperar el desarrollo del conocimiento científico, si bien no se trató de aniquilarlo. Diversas razones propiciaron tal estado estacionario en la formación del pensamiento científico. Por un lado, están las invasiones hacia el mundo romano de pueblos alejados al mundo griego. Estos pueblos "bárbaros", tenían un estado más elemental de conceptualización y por tanto de representación del mundo; dichos pueblos se enfrentaron súbitamente ante una cultura y formas de pensamiento inabordables. Sin embargo, estos pueblos dominadores trataron de preservar el estado intelectual de los romanos, pero para asimilar dicho estado, había necesidad de una adaptación, lo cual implicó en gran medida la deformación y pérdida de las concepciones griegas y romanas. Otro aspecto que impidió el desarrollo, fue el estado constante de guerras territoriales por los diversos grupos que iban arribando a occidente. Como un tercer punto para el estancamiento del desarrollo científico, está el que los esfuerzos intelectuales de esa época, se dirigieron prin

¹⁴ Jeans, Sir James. Historia de la Física. Pág. 124

principalmente al establecimiento del cristianismo, esto es a su fundamentación teológica. El construir un sistema coherente sobre el cual apoyarse para fundamentar la doctrina cristiana, absorbió desde la Patrística hasta la Alta Edad Media.

"Hacia el año 500 la Iglesia cristiana había ya atraído a la mayoría de los hombres de talento de la época a su servicio en actividades ya sea misioneras, organizativas, doctrinarias o puramente especulativas. El honor y la gloria ya no estaban vinculados con el conocimiento objetivo y científico de los fenómenos naturales, sino más bien con la promoción de los objetivos de la Iglesia universal"¹⁵.

En este afán de fundamentación, de dar razón a los dogmas y a la fé, se logró el no perder por medio de las escuelas monásticas, buena parte del legado científico, puesto que de alguna manera podía apoyar con evidencias al cristianismo. Por otro lado, no es de extrañar que lo que más pudo perdurar, fueron los tratados de recopilación con carácter enciclopédico realizados por el mundo romano, como la Historia Natural de Plinio, que se utilizó como texto durante varios siglos.

Otras obras de carácter enciclopedista, se realizaron en los principios de la Edad Media como la obra de Boecio quien tradujo obras de Aristóteles, así como trabajos de lógica y matemáticas; Isidro de Sevilla, con su obra Etimologías, Beda el Venerable, Alcuino de York, que trabajó con Carlo Magno y Rabano Mauro, también se cuenta la traduc-

¹⁵ Grant Edward. La ciencia física en la edad media. Pág. 18

ción del Timeo de Platón, traducido por Calcidio en el siglo IV como una traducción anterior.

"Entre 1125 y 1200 un verdadero alud de traducciones vertió al la tén una parte significativa de la ciencia griega y árabe, lo que fue seguido por nuevos aportes en el siglo XIII"¹⁶.

Efectivamente, en el siglo XII, llegan a Europa Occidental (por la dominación árabe y por el comercio con Italia) una gran cantidad de textos árabes, que son en su mayoría traducciones de las fuentes originales griegas, otros sin embargo, son importantes aportaciones árabes como los trabajos de Alhazen. Esta ciencia greco-árabe, que se basaba principalmente en Aristóteles, ofrecía al mundo europeo una visión coherente de la naturaleza de la cual carecían, pues apenas contaban con elementos aislados, que ofrecían principalmente las obras de Plinio y de Boecio. No es pues de extrañar que tuvieran gran acogida entre los filósofos del siglo XII, a los que las viejas y parcializadas concepciones ya no satisfacían. Crombie, escribe: "El sistema del pensamiento científico que fue conocido por la cristiandad occidental en el siglo XIII le llegó en una colección de traducciones del griego y del árabe, como un conjunto completo y en su mayor parte coherente. Era un sistema de explicaciones racionales de mayor alcance y extensión que todos los sistemas conocidos anteriormente en el occidente latino, y cuyos principios generales dominaron de hecho la ciencia europea hasta el siglo XVII.

¹⁶ Idem pág. 40

Sin embargo, este sistema científico greco-árabe no fue recibido de forma meramente pasiva en el siglo XII en los campos de la filosofía y la tecnología; se aplicó en el siglo XIII para detectar e intentar resolver las contradicciones que existían dentro del mismo sistema aristotélico, entre Aristóteles y otras autoridades como Ptolomeo, Galeno, Averroes y Avicena, y entre las distintas autoridades y los hechos observados. Los estudios occidentales intentaban hacer inteligible el mundo natural y se apropiaron el nuevo conocimiento como una iluminación maravillosa, pero no definitiva, y como punto de partida para investigaciones ulteriores"¹⁷.

Los principales centros de traducción al latín de la ciencia greco-árabe fueron Toledo en España y Sicilia en Italia, y aparecen nombres como, Gerardo de Cremona, Roberto de Chester, el famoso Adalardo de Bath, Alfredo de Soreschel, Platón de Tívoli, Santiago de Venecia, Guillermo de Moerbecke, Domingo Gundisalvo, etc. Entre las obras traducidas en aquella época se encuentran: Lógica Nova (analíticos), Física, De Caelo, Metafísica (I - II), y De animalibus, de Aristóteles; los Elementos, Óptica y Catóptica de Euclides; la Pneumática de Herón, así como las principales obras de Ptolomeo; Galeno e Hipócrates. Por parte de los pensadores árabes, se tradujeron obras de Al-khwarizmi, Al-Battani, Al-Fargani, Al-Bitruji, Rhazes, Alhazen, Avicena y Averroes.

En el siglo XIII, cuando habían sido comprendidas totalmente las obras griegas y árabes, comenzaron a surgir otros pensadores que

¹⁷ Crombie, A.C. Historia de la Ciencia. Vol. I Pág. 68

no conformes con el conocimiento que dichas obras proporcionaban, empezaron a realizar sus propias investigaciones, llegando a mejores concepciones del mundo y tal vez lo que es más importante, a buscar los medios de demostración de la falsedad de las antiguas concepciones, y a la vez para validar las nuevas aportaciones. No es de extrañar que una de las principales ramas de la Física que más se desarrolló en los siglos XIII y XIV, haya sido la óptica, en donde se encuentran nombres como Robert Grossetesta, su alumno Roger Bacon, Witelo, John Pecham y Teodorico de Freiberg. Varias son las razones por las que la óptica y en especial la explicación del arco-iris, se desarrollaron en dicha época; entre ellas podemos destacar, que la óptica contaba con la información más completa y coherente que se conocía en los trabajos de los griegos en especial Euclides y Ptolomeo y por parte de los árabes con Alhazen; por otra parte, la tecnología del vidrio había sido suficientemente desarrollada para permitir el realizar en ese material, los modelos necesarios para las investigaciones; había también razones teológicas, pues la luz era una de las principales manifestaciones de Dios, por su naturaleza intangible e iluminadora.

No sólo la óptica se desarrolló, también el problema del movimiento fue estudiado, pero aquí la carencia de medios adecuados de control y medición, no permitieron un desarrollo tan completo como en la óptica, sin embargo, tanto el movimiento como la cosmología fueron los temas sobre los cuales se desarrollaron los sistemas físicos en la Edad Media. Un aspecto que hay que remarcar, es que los pensadores medievales, tanto árabes como europeos no se limitaron al desarrollo del conocimiento de los fenómenos naturales, sino que abordaron profundamente, la manera o la forma de conocimiento, esto

es, retomaron las antiguas preocupaciones griegas de la construcción del conocimiento, para encuadrar todo en una unificada concepción del mundo pero ahora a partir del esquema cristiano. Nuevamente se acometieron las cuestiones del cambio, de la sustancia y de la esencia, de la potencia y el acto, de la forma y la idea.

Este nuevo ímpetu en la formalización del conocimiento, comienza por retomar como se ha apuntado, el pensamiento griego sobre todo, tomando como directrices epistemológicas, las ideas de Platón y Aristóteles. Sin embargo, y a raíz de cuestiones teológicas, en el siglo XIV, surge una fundamentación distinta al conocimiento, de la extraída de los pensadores griegos, G. Ockham es el principal exponente de este nuevo punto de vista que surge a partir del problema de los universales, dando origen al nominalismo. Nominalismo que como veremos, tendrá gran importancia para la formalización de la ciencia.

El formalismo establecido por Platón y Aristóteles, lleva de forma inmediata a dar existencia propia, innata, a lo que mediante el conocimiento se ha podido establecer como una verdad generalizable, esto es, universal. Principalmente, el trabajo de Aristóteles es el que da valor y justificación causal a los conocimientos generales, puesto que el formalismo lógico que establece, pretende establecer el juicio verdadero lo cual le da necesariamente el carácter de universal.

Para ambos filósofos griegos, el llegar al conocimiento de un universal, implica que dicho universal es existente por sí mismo (lo cual se presenta claramente en la substancia), pues si no ocurriera

su existencia, no hubiera habido posibilidades de conocerlo, sea una idea perfecta de una realidad ideal, sea la aprehensión razonada de una realidad circundante.

Ockham, abre un nuevo camino al no hacer radicar el universal como una conceptualización directa y correspondiente con la realidad, estableciendo un punto de vista opuesto al realismo. Para su elaboración, Ockham parte del análisis del simbolismo que expresa el conocimiento, esto es del lenguaje; reconoce en el lenguaje, el significado como el elemento central sobre el cual establecer la relación con lo particular, en el símbolo se tiene un significado, se alude a algo existente en el terminus conceptus. "Ockham llamó - < signo natural > al concepto o terminus conceptus porque pensaba que la aprehensión directa de una cosa cualquiera causa de modo natural en la mente humana un concepto de esa cosa"¹⁸.

El darse cuenta de la significación, implica que es significación de algo y por consiguiente todo terminus conceptus, es significante de algo, de un individual (tenga o no realidad externa al sujeto - cognoscente). Copleston escribe: "La respuesta de Ockham al problema de los universales ya ha sido indicada: los universales son términos (termini concepti) que significa casos individuales y que los representan en las proposiciones. Solamente existen los casos individuales; y por el mero hecho de que una cosa exista, es individual. No hay ni puede haber universales existentes"¹⁹.

¹⁸ Copleston. Historia de la filosofía. Vol. III Pág. 62

¹⁹ Idem Pág. 63

Ockham, no se queda en la mera descripción terminista, hacer ver con claridad que el establecimiento del significado del término, es un acto del sujeto, no es la percepción intuitiva de una realidad, sino la elaboración conceptual de algo a partir de dicha realidad, de lo observable en cada particular. Este es el gran salto en epistemología, el hacer radicar el universal en el hombre, en la elaboración mental a partir de una realidad individual y poder por medio de esa elaboración generalizar hasta dar un carácter de universal mediante un concepto aplicable a muchas individualidades. Nunca pierde de vista Ockham, que la evidencia es anterior a todo conocimiento. "Una cualidad distinta < ningún universal es algo existente fuera de la mente de un modo u otro; sino que todo aquello que es predicable de muchas cosas está, por su misma naturaleza, en la mente, sea subjetiva u objetivamente; y ningún universal pertenece a la esencia o quiddidad de ninguna substancia >"²⁰. "... las únicas substancias son los casos individuales y sus propiedades. Lo universal existe en el alma del sujeto cognoscente y solamente allí"²¹.

Hace ver Ockham, que si lo que se quiere es referirse al conocimiento por el cual se manifiesta la existencia de algo, debe ser un conocimiento extraído de la percepción directa. Las elaboraciones o especulaciones mentales como las designa, no pueden dar garantía de la existencia o no existencia, así escribe: " < En oposición al conocimiento intuitivo, el conocimiento abstracto no nos permite saber si una cosa que existe, existe, o si una cosa que no existe no

²⁰ Idem pág. 64

²¹ Idem pág. 65

existe > ; < El conocimiento intuitivo es aquel en virtud del cual sabemos que una cosa es, cuando es, que no es cuando no es > . De aquí resulta que el conocimiento sensible es el único cierto, cuando se trata de alcanzar las existencias"²². "Nada puede ser conocido naturalmente en sí mismo a menos que sea conocido intuitivamente"²³.

El esquema planteado por Ockham, es sumamente rico para la ciencia, aunque no podamos pensar en un alcance inmediato para la ciencia de su época. Sin embargo, dejó apuntada una forma de conocimiento, pensando en la interacción con el objeto y en una elaboración posterior a dicha interacción. En otros términos el esquema planteado por Ockham, define que:

a) No hay conocimiento de lo existente sin la sensación; esto afirma la importancia de la interacción directa entre el sujeto cognoscente y la realidad cognoscible, haciendo notar que si no hay posibilidad de interacción no es posible tal conocimiento. La experimentación juega por tanto un papel fundamental en el conocimiento.

b) El conocimiento extraído de esa interacción, no es la realidad misma; el alcance de esta aportación es mayor que la anterior, pues to que deja entrever que el conocimiento constituye una interpretación (sujeta a las circunstancias de lo observable) de la percepción.

²² Gilson, E. La filosofía en la Edad Media. Pág. 594

²³ Idem pág. 594

Sin embargo, hay que hacer notar que no hay una formalización de lo anterior, puesto que Ockham no establece:

a) Cómo es la naturaleza de la interacción, si es pasiva (mediante la mera observación de lo que ocurre) o activa (realizando formas de relación bajo una formulación establecida).

b) Si el conocimiento extraído de esa interacción, es un modelo que le permite al sujeto cognoscente ser actuante sobre su realidad, o es una interpretación directa de la percepción, lo cual lo llevaría de nuevo a una posición realista.

De hecho en la formulación del conocimiento, Ockham no rebasa la formalización causal. Esta afirmación se fundamenta, en que Ockham no niega las relaciones causales como la consecución en el tiempo de las relaciones entre dos observables o más. Estas relaciones se dan dentro de las deducciones formales lo que implica que en el formalismo lógico, están implicados los elementos causales de relación. Desde esta perspectiva es que Ockham no rebasa la causalidad. Ahora por lo que respecta a la concepción causal de Aristóteles como la necesidad del establecimiento de un único principio causal, efectivamente Ockham rechaza esta idea separándose de la tradición aristotélica necesaria para la fundamentación de las otras posturas filosóficas de su época.

Por otro lado, hay que aclarar que el trabajo de Ockham es fundamentalmente una crítica a la metafísica y esto lo lleva no a una revisión de la lógica aristotélica sino a generar un estudio sobre la significación de los símbolos de los universales. Con ello, Ockham establece lo que se ha dado en llamar lógica terminista, que en rea

lidad no llega a ser una lógica, sino una especie de clasificación formalizada.

Ahora bien, la importancia de Ockham, radica en el hecho de revisar el concepto de universal y con ello tratar de determinar en quién recae, esto es, si tiene existencia propia o sólo en la inteligencia del sujeto. Con la solución propuesta por Ockham, se obliga a la revaloración de lo real particular, como lo que tiene realmente significado.

En este punto da un gran salto puesto que establecen las relaciones de equivalencia entre lo particular y lo universal del símbolo construido (esto será de gran importancia para la Física en su formalización simbólica) "... no hay ni general ni particular en las cosas mismas, sino únicamente en nuestro modo de considerarlos"²⁴.

De donde pueda concluirse del símbolo o término universal que -
 "... toda su universalidad consiste en que pueden ser atribuidos a varios individuos"²⁵.

²⁴ Idem pág. 599

²⁵ Idem pág. 599 .

Además, el esquema planteado por Ockham, es congruente con las aportaciones y formas de interacción netamente científicas como las elaboradas por Grossetesta, Witelo, etc.

Así por ejemplo, Grossetesta identificaba la corporeidad común de los neoplatónicos con la luz, "afirmaba que el universo surgió de un punto de la luz que por autodifusión engendraba las esferas de los cuatro elementos y los cuerpos celestes y confería a la materia su forma y dimensiones"²⁶.

En el caso del arco-iris, se encuentra una evolución muy importante para la metodología de estudio de la naturaleza. El primero en realizar estos estudios fue Grossetesta, quien estableció que la formación del arco-iris a diferencia de la opinión de Aristóteles de la formación por reflexión, ésta se debía al fenómeno de refracción, además, por una interesante analogía, comparó el comportamiento de la luz con el del sonido reconociendo así, una concepción ondulatoria (en realidad vibratoria) de la luz, " << por eso cuando el cuerpo sonoro es golpeado y vibra, deben producirse una vibración y un movimiento semejantes en el aire contiguo que le rodea, y esta generación progresa en todas las direcciones en línea recta >> . Si la propagación choca con algún obstáculo, se ve forzada a << regenerarse volviendo hacia atrás >> . Porque las partes expansivas del aire que chocan con el obstáculo deben necesariamente expandirse en la dirección opuesta, y así esta propagación que se extiende a la luz que está en el aire más sutil es el sonido que vuelve, y esto es el eco >> .

²⁶ Crombie, A.C. Historia de la Ciencia. Vol. I Pág. 68

De la misma forma que el eco era propagado por la luz fundamental, la << repercusión >> de la luz visible producía una imagen reflejada. La refracción se explicaba de manera semejante²⁷.

Posteriormente, el discípulo de Grossetesta, Roger Bacon, determinó la distancia focal de un espejo cóncavo, con la elaboración de la idea de considerar a los rayos provenientes del sol como paralelos y no divergentes como antes se consideraba. Para explicar el arco-iris, reunió una colección de fenómenos tales como los colores en el rocío para proceder por analogía. Además utilizando instrumentos como el astrolabio, mostró que sólo se observaba el arco-iris cuando el ángulo entre los "rayos" del arco al ojo y del sol al arco, era de 42° .

Otro seguidor de Grossetesta, Witelo, construyó y modificó un aparato propuesto por Alhazen, con lo cual pudo establecer mejor que Ptolomeo, el comportamiento de los haces de luz al pasar por medios refringentes.

Finalmente, Teodorico de Freiberg en su obra de Iride et Radialibus Impressionibus muestra como, a partir de la experimentación con esferas de cristal llenas de agua explica la formación por refracción del arco-iris, misma explicación que más adelante formalizaría Descartes. "El mismo Teodorico propuso la teoría de que el arco primero estaba producido por la luz que caía sobre las gotas esféricas de lluvia, siendo refractada en cada gota, reflejada en su superficie interior y refractada hacia afuera de nuevo; y que el arco secundario se debía a una nueva reflexión antes de la segunda refracción"²⁸.

27 Idem pág. 75

28 Idem pág. 99

Estos ejemplos dan clara muestra de la labor científica desarrollada en la Edad Media en donde las investigaciones, no perdieron su carácter de rigurosidad en la búsqueda de la explicación de los fenómenos naturales, y en donde la experimentación, cobra la dimensión, ya no sólo de la evidencia que proporciona los datos sobre los cuales crear los modelos, sino ahora la experimentación se convierte en un juicio que se aplica a las antiguas concepciones y formulaciones de los griegos y de los árabes.

La Baja Edad Media no fue un estado de oscuridad, sino de una gran labor científica que fue estableciendo cada vez con mayores elementos teóricos (lógicos y matemáticos) y técnicos (relojes, brújulas, lentes, etc.) una forma de conocimiento que florecería posteriormente con los grandes sistemas establecidos por Copérnico, Kepler, Galileo, Descartes, Newton y Leibniz.

La Epoca moderna (a partir del Renacimiento), suele fijarse con el trabajo de Nicolás Copérnico, en su libro *De revolutionibus orbium caelestium*, en el cual se retoman antiguas ideas del mundo como lo reconoce el propio Copérnico. Pero su importancia no radica en ello, ni tampoco, en el tratamiento extremadamente complicado con el cual está escrito, sino en las consecuencias que dicho trabajo provocó y con las cuales se realizó lo que Kuhn llama la "revolución copernicana".

"Así pues, la importancia del *De revolutionibus* está menos en lo que dice por sí mismo que en lo que ha hecho decir a otros. El libro dió nacimiento a una revolución que él apenas había esbozado, por lo que es lícito hablar de un texto provocador de revolución antes que un texto revolucionario propiamente dicho"²⁹.

²⁹ Kuhn T. La revolución copernicana. Pág. 186

El cambio de perspectiva del sol como centro universal a la tierra, no sorprendió a muchos pensadores de la época y fue abiertamente acogido hasta que la Iglesia lo concibió como un elemento peligroso a sus doctrinas, llegando en su celo a casos tan extremos como lo acontecido con Giordano Bruno, si bien todo su juicio no se debió a ese único hecho.

Otro personaje que realiza una gran aportación, más por sus cuidadosas observaciones que por sus concepciones del cosmos es Tycho Brahe, quien logró una gran cantidad de información en relación a los movimientos de los planetas. Observaciones que confirmaban la idea de Copérnico y que Johannes Kepler llevaría a una formalización en un lenguaje matemático. Con ello, fueron posibles también las aportaciones de Galileo, para terminar con la explicación de las leyes de Kepler por la concepción gravitacional de Newton.

Por otro lado, y es el punto más importante, el complicado problema de la descripción del movimiento de los objetos, comienza a aclararse y a tomar como en la astronomía, una formalización en su expresión, de la cual había carecido toda la ciencia precedente. Así, primero son las concepciones del College Merton después con Stevin hasta llegar a Galileo Galilei, el cual formula la cinemática a través de una serie de experimentos. Los experimentos de Galileo, merecen especial consideración puesto que en ellos, se encuentran todos los elementos que una experimentación contemporánea exige. (Hay un fuerte debate entre varios autores por ejemplo, S. Drake, Seatle, Blanche, Tullur, etc., sobre la realidad de los experimentos de Galileo, pero hasta la fecha por datos encontrados por Drake se pueden observar datos que concuerdan con los cálculos teóricos actuales, y los cuales no pueden obtenerse con las rela-

ciones encontradas por Galileo, lo que apoya la labor experimental de Galileo). Efectivamente, Galileo realizó experimentos - en los cuales se preocupó por medir con la mayor precisión posible los factores determinantes en el movimiento (espacio-tiempo), llegando a utilizar la música para medir pequeños intervalos de tiempo. Sus experimentos ofrecen elementos claros de control de otras variables, como la forma de los cuerpos utilizados, la forma de rodamiento, la inclinación de los planos, etc., que demuestran la planeación estructurada de la experiencia, pero además y este es un punto de especial relevancia, estableció toda una secuencia de experimentos coherentemente ordenados, cosa que difícilmente se encuentra anteriormente.

Existe otro aspecto de especial relevancia y es el uso que se le da a los datos experimentales, puesto que ya no son para la simple comprobación de una idea, sino que al realizar mediciones continuas e interrelacionadas, Galileo puede ofrecer modelos numéricos - (matemáticos) de las situaciones físicas en observación y así encontrar elementos predictivos hacia las mismas situaciones físicas y en los cuales sólo otra experimentación tan completamente elaborada como las anteriores, puede decidir acerca de la validez del modelo y de la construcción lógica propuesta. Las dos anteriores anotaciones constituyen los elementos centrales sobre los cuales se apoyó toda la Física Clásica, y son con ellos con los que contaron Newton y Leibniz para ofrecer sus estructuras completas del movimiento y sus causas.

Efectivamente y esto es un punto delicado, a partir fundamentalmente de los trabajos de Kepler y Galileo, las matemáticas, en especial el álgebra, comienzan a cobrar un nuevo significado en la cons

trucción de los conceptos y situaciones físicas. Este paso permitió un elemento sobre el cual las formulaciones podían estrictamente ponerse a prueba entre sí, dejando un poco fuera otro tipo de consideraciones como las metafísicas.

Tan es importante este aspecto, que para poder expresar sus formulaciones conceptuales del movimiento, Newton y Leibniz tuvieron que desarrollar su propia expresión matemática que culminó con el cálculo infinitesimal, que abrió enormes perspectivas a la Física.

"... en la presente obra, en la cual se muestran dos nuevas Ciencias enteramente se dan primeros principios, fundamentados concluyentemente, esto es geométricamente demostrados"³⁰.

Pero la mayor importancia de la obra de Galileo, tal vez no radique en sus procesos experimentales como siempre se ha insistido, mucho antes que él realizaron experimentación muy bien estructurada y elaborada, como ejemplo podríamos citar a Ptolomeo y Witelo. Por otra parte, tampoco es el primero en utilizar la fundamentación geométrica como apoyo a una idea, por ejemplo Kepler. Lo que es novedoso en Galileo, es la visión integradora que le permite elaborar teorías contrastables bajo una evidencia simple.

Efectivamente, con su seria e ingeniosa experimentación y toda la potencialidad matemática que manejaba, fue capaz de establecer relaciones descriptivas y predictivas del comportamiento físico. Con la labor de Galileo Galilei, comienza lo que en un futuro cer

³⁰ Galilei, Galileo. Discorsi e dimostrazioni matematiche. Pág. 4

cano, sería la Teoría Física, con todo su formalismo. La importancia que en un momento cobró la representación matemática como elemento fundamental en el rigor y estructura de la Física, no se perderá jamás.

Hubo otra gran ventaja con la formalización teórica de Galileo, y es que sus elementos de expresión y de fundamentación con la evidencia extraída del modelo se convertirían en la guía de una forma de interacción con la naturaleza.

Si bien Galileo dejó los fundamentos para la formalización de la Teoría Física, fue I. Newton, el que en el siglo XVII, llevó ésta forma de pensamiento a su máxima expresión. Newton, también realizó experimentos, aunque sus logros más grandes en la Física, están dentro de un marco netamente conceptual. A partir de Newton se afianza más el vínculo entre matemáticas y observables físicos. Tanto es así, que tuvo que desarrollar buena parte de las matemáticas (el cálculo infinitesimal), para poder formalizar sus concepciones físicas como se había apuntado.

Newton, dentro de la conceptualización física, resulta un pensador extraordinario y su mayor logro está en la dinámica más que en la óptica. El establecimiento de las tres leyes de la dinámica, abre una perspectiva a la Física Racional. Las tres leyes de Newton, no son extraídas de la experimentación, porque no pueden serlo, no existe evidencia de las mismas, es una elaboración mental extraída de la generalidad de las observaciones del movimiento, basadas más en una idea de causalidad que de cualquier otra. De hecho, podríamos decir que en éste punto Newton perfecciona el razonamiento de Aristóteles sobre la causa, como agente para el -

movimiento. En este punto Newton no rompe con Aristóteles como muchas veces se ha afirmado. De hecho, las tres leyes encajan dentro del sistema aristotélico de potencia - acción - acto. Newton logra hacer que este esquema causal sea aplicable a la dinámica, estableciendo una primera ley que establezca la potencia del cambio. << Un cuerpo en reposo o en movimiento, no experimenta cambio en su estado a menos que un agente externo lo modifique >>. Después la segunda ley establece la forma operacionalizada del agente, del actuante, al describir dada la acción como se modifica su estado. << $\vec{F} = d\vec{p} / dt$ >>, finalmente, en la tercera sucede que el acto es dado, aparece la interacción entre las constantes, el agente de cambio y el de la potencia actualizada, y dado que es una relación directa, el acto afecta a ambos, de ahí << a toda acción corresponde una reacción de igual magnitud, pero de sentido contrario >>. Sin embargo, las leyes de Newton tendrán un alcance insospechado, en él mismo se reflejará su potencialidad al poder establecer la famosa ley de Gravitación.

Es en la ley de Gravitación donde sí hay rompimiento formal con Aristóteles y es en la idea de acción a distancia. Aristóteles no concebía que un agente modificara a un cuerpo, si no estaba en contacto con él, Newton, sin embargo, llega a la idea de acción a distancia, idea central en la mecánica celeste que establece.

Por su parte Leibniz, atacó también el problema de la descripción causal del movimiento al igual que Newton y aunque sus concepciones físicas no tuvieron un impacto inmediato, dejaron establecidas las bases para el desarrollo de la energía del movimiento. Leibniz al igual que Newton, al intentar resolver el problema de -

las variaciones pequeñas en el movimiento, estableció importantes aspectos para la matemática diferencial.

Los trabajos y la importancia de los mismos tanto de Newton como de Leibniz son bien conocidos y lo que nos interesa remarcar aquí, es cómo las matemáticas se van convirtiendo primero, en un elemento de apoyo para las ideas como lo expresa Galileo y después como un elemento racional con el cual se pueden hacer inferencias y deducciones, como una estructura de pensamiento que permite abordar en parte, por sí sola el conocimiento físico.

No es por tanto sorprendente, que los dos siglos posteriores a Newton y Leibniz (Ilustración) el formalismo matemático se desarrollara totalmente, dando como resultado una teoría físico-matemática completa, que venía a dar una visión mecanicista totalizadora del mundo. Los representantes más significativos de este período son sin duda alguna, Euler, Laplace y Lagrange.

C. Truesdell escribe: "La mecánica racional fue una ciencia de la experiencia, pero no más que de la geometría se puede decir que fuera una ciencia racional. Ciertamente es que algunos grandes experimentos fueron llevados a cabo durante la ilustración, pero apenas tuvieron repercusión alguna sobre el crecimiento de las teorías - que hoy se consideran como clásicas.

El método seguido en las investigaciones más fructíferas fue enteramente matemático, pero los resultados no se pueden calificar de matemática pura, pues la experiencia fue guía constante.

Tanto la experiencia física como la experiencia procedente de la acumulación de conocimientos teóricos. A esta ciencia mecánica

del siglo XVIII no se le puede llamar ni física, ni matemática - pura, menos aún matemática aplicada: por merecimientos propios ha de llamársele Mecánica Racional"³¹.

La Óptica aunque en forma limitada, siguió un esquema parecido al de la mecánica, formalizando bajo el aspecto matemático, la enorme riqueza experimental acumulada en los siglos precedentes, dentro de los más grandes representantes está Fresnel.

Pero esta matematización como Truesdell la llama racionalización, no ocurrió en la termodinámica, ni en la electricidad. Los fundamentos de estos aspectos de la Física, aún no se habían desarrollado lo suficiente para que pudiera sistematizarse de esa manera. Por ello, en el siglo XVIII y principios del XIX, se presenta una gran actividad experimental y técnica en estos campos de la Física, y en donde se encuentran personajes como Joule, Carnot, Watt, etc., en la termodinámica y Ampere, Ohm y Faraday en la electricidad y el magnetismo.

Sin embargo, el aspecto racional, se convirtió en la guía, por la que ambas ramas de la Física siguieron y así, a mediados del siglo XIX, personajes como Boltzmann en termodinámica y Maxwell en electromagnetismo, pudieron ofrecer una estructura racional, similar a la Óptica y la mecánica.

Para finalizar el siglo XIX, casi toda la Física había sido formalizada, constituyéndose en lo que ahora se conoce como Física Clásica.

³¹ Truesdell, C. Ensayos de historia de la mecánica. Pág. 132 - 133

sica. Esta Física era una visión mecanicista de la realidad y estaba estructurada matemáticamente en forma completa. No es de extrañar que la representación que esta visión de la Física en la educación, haya conducido al manejo y comprensión del aparato (sig tema) matemático de la Física y que por su parte el aspecto experimental haya descendido a un segundo plano y que muchos de los vicios de las clases teóricas sean una herencia de esa Física "Racional".

A principios del siglo XX, todo este estado de cosas cobró un giro y nuevamente la experiencia se torna radical. Los elementos formales, la teoría establecida es inconsistente ante la nueva experiencia, a saber, la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoelectrico y los experimentos de Michelson y Morley sobre movimiento relativo al "éter". Pero aquí, la solución a dichos problemas será trascendente a la formalización matemática y a la experimentación controlada. Se presentaba otro aspecto, un retornar a los elementos especulativos para después desplegar en toda su potencialidad nuevos elementos, tanto conceptuales, como filosóficos y matemáticos. Fundamentalmente se rompieron dos cuestiones a) El determinismo absoluto, desde la concepción de invariancia espacio-tiempo como entidades independientes hasta la interrelación relativística de un espacio-tiempo indisoluble, por un lado y por el otro desde la localización precisa de un objeto, hasta su distribución espacial y su inaccesibilidad real que establece el principio de incertidumbre.

El primer nombre que aquí surge es el de Einstein, de quien Heisenberg apunta: "Siempre fueron premisas propias de las ciencias fisicas y naturales que el espacio y el tiempo eran dos esquemas de orden cualitativamente diferente, dos formas intuitivas en las que

se nos presenta el mundo, pero que de inmediato no tienen nada en común. Sólo parece haber un tiempo único que es el mismo en todos lugares del mundo y para todos los seres vivos, así como para toda la materia inerte. Bajo estas hipótesis lógicas se había desarrollado la Física desde los tiempos de Newton, y los grandes éxitos de esta ciencia sirvieron para demostrar su exactitud de tales hipótesis. Einstein tuvo el extraordinario valor de poner en duda todas esas imposiciones, y también poseyó el vigor intelectual de considerar el modo de llegar con hipótesis nuevas a una ordenación lógica de los mismos fenómenos"²².

Con la Física Moderna, la imagen física del mundo cobra otra dimensión, todos los principios de la Teoría Física, se ven modificados. "Puede darse el caso de procesos que para su obtención necesiten la observación experimental y para su análisis racional precisen de los medios matemáticos, ya que no disponemos de imagen alguna para ellos. El carácter no intuitivo de la física atómica moderna se basa, a fin de cuentas, en la existencia del Quantum de Acción de Planck, en la existencia previa de una determinación de modelos atómicos en las leyes de la naturaleza"²³.

Todas estas características de la Física Atómica, constituye un punto extremadamente difícil en la educación de la Física, pues las evidencias de las experiencias no se dan, sólo se obtienen aspectos indirectos y a ellos hay que someterlos a una matemática

²² Heisenberg, W. Más allá de la Física. Pág. 6 - 7

²³ Idem pág. 17

probabilística, donde el carácter predictivo, no está ya unívocamente determinado. Es por ello, que para abordar éstos temas en la educación, se requiere una preparación especial del estudiante, a saber, la completa comprensión de la Física Clásica.

CAPITULO II

ESTRUCTURA DE LA TEORIA FISICA

Al tratar de conocer la representación del mundo que nos plantea la Ciencia y la Física en especial, lo primero a lo que nos enfrentamos es ante un formalismo que es la teoría, la Teoría Física. Esa imagen física del mundo como diría C.V. Weizsäcker, es una representación que existe en una forma; es por consiguiente un formalismo que le da estructura y que posibilita la acción sobre la naturaleza.

De lo anterior, surge el primer obstáculo - y tal vez el más importante - para la educación en la Física y consiste en que el estudiante debe tener un pensamiento tal que le permita estar informada, esto es, su estructura y su pensamiento debe constituirse de manera, que pueda abordar la Teoría Física, con todas sus implicaciones lógicas; deductivas, simbólicas por un lado y por otro sobre la acción experimental y técnica que tiene el formalismo de la Física.

Es por lo anterior, que no sólo los conceptos involucrados en la teoría tienen un papel importante como se pretende generalmente en la Pedagogía. Para el aprendizaje como para el propio desarrollo de una ciencia específica, la forma, la estructura de la ciencia - (que también se ha ido generando) cobra aquí una especial importancia.

El determinar en qué consiste; qué caracteriza a la Teoría Física, y qué elementos proporciona para el conocimiento, así como su alcance y limitaciones tanto como su posibilidad representativa de una realidad circundante al sujeto, no es un problema simple, pues

to que está dentro de la misma elaboración del conocimiento científico.

No se trata de especificar una especie de método con el cual, se sistematizan los conocimientos construidos por los investigadores. Hay que tener presente que el conocimiento, o particularizando, - cada conocimiento elaborado es intra-teórico, se hace con la teoría y dentro del formalismo que le es propio.

Pero el tratar de analizar la forma de la teoría, es tratarla de analizar bajo una concepción particular del conocimiento. De aquí el tener diversas interpretaciones de lo que es la teoría científica y de lo que significa para el conocimiento, tanto en su generación como para su aprendizaje. No es por ello de extrañar, que - el concepto de teoría vaya cambiando conforme la misma ciencia va cambiando. A este respecto Heisenberg escribe: "Para el siglo XIX la mecánica era a fin de cuentas, una ciencia exacta. Su ta rea y su campo de aplicación parecían ilimitados. El mismo Boltzmann afirmó que un proceso físico no puede comprenderse sin antes haber aclarado su mecánica.... La primera brecha abierta en este mundo de ideas fue realizada por Maxwell y su teoría sobre los fenómenos electromagnéticos. En esta teoría se dá una explicación ma temática de los fenómenos sin aludir para nada a la mecánica... Parecía irrefutable la conclusión: una de estas dos teorías, la mecánica de Newton o la teoría de Maxwell, tenía que ser falsa"¹. Pero además, con el posterior desarrollo de otros campos de la Física como la teoría general de la relatividad de Einstein y la teoría cuántica, se llegó a la situación de diversas teorías para ex-

¹ Heisenberg. Más allá de la física. Pág. 80-81

plicar el mundo físico, por lo que tuvieron que aparecer principios como el de complementariedad de Bohr y el propio de relatividad de Einstein, que pretenden ser un enlace entre las ahora diversas teorías de la Física.

"De lo cual se deduce -dice Heisenberg- que no podemos decir: La mecánica de Newton es falsa y debe sustituirse por la mecánica cuántica, que es la verdadera. Más bien, deberíamos decir << La mecánica clásica es una teoría científica cerrada en sí misma. Es una descripción estrictamente correcta de la naturaleza en todos aquellos casos que tengan aplicación sus conceptos >> ... En la Física actual conocemos, en esencia, cuatro grandes disciplinas que podemos calificar de cerradas en el sentido dicho: Además de la mecánica de Newton, la teoría de Maxwell con la teoría especial de la relatividad; a continuación la teoría del calor y la Mecánica Estadística, y finalmente, la Mecánica Cuántica con la Física Atómica y la Química"².

La nueva Física de principios del siglo XX, como es de esperar, provocó un renovado interés por la significación filosófica de la teoría, las viejas concepciones casi escolásticas como la de E. Mach o la posición de H. Poincaré que podría tomarse como representativa - en los fines del siglo XIX, son concepciones acerca de la Física y de la Teoría Física que ya no tenían cabida ante el nuevo estado de cosas. Poincaré expresa la concepción de que las leyes y su cuerpo, la Teoría Física son una descripción fiel de la naturaleza y si las reconoce imperfectas, es porque no puede establecer todas las

² Idem pág. 82-83

relaciones condicionantes a un simple hecho físico. Así escribe: "... que al progresar, la ciencia poseerá leyes cada vez más probables, que la aproximación acabará por diferir tan poco como se quiera de la exactitud y la probabilidad de la certeza"³.

En el ámbito general de la ciencia en la época de la Física Clásica y aún actualmente, podría tomarse lo anterior como una opinión generalizada. La experiencia es una fuente de conocimiento y la generalización su concreción, su establecimiento como tal. Así, la teoría era por necesidad el reflejo, la descripción fiel de la realidad. No existía duda alguna acerca de los principios de la ciencia, como tampoco de la construcción del conocimiento científico, pues su prueba de verdad consistía en la correspondencia con la realidad, se probaba con la experimentación. Pero todos esos supuestos con los cambios de la Física que rebasaban las teorías - cerradas de la Física Clásica como Heisenberg las llama, ya no pueden ser sostenidos y se obliga a unas nuevas concepciones sobre la estructura de las teorías físicas.

Sin embargo, las teorías físicas anteriores están establecidas y - tienen las características generales que les den ese carácter de - teorías formales, de teorías del conocimiento científico.

Esas características generales son como se ha esbozado, inherentes a la propia estructura del conocimiento científico, así, no hay - cuerpo de conocimientos científicos establecidos e incluso incipientes que no pertenezcan o mejor dicho conformen una teoría científica.

³ Poincaré H. Filosofía de la ciencia. Pág. 63

Esta concepción, no da ningún elemento bajo el cual esa organización o sistematización del conocimiento deba realizarse, además de darle un carácter de absolutismo al conocimiento científico, esto es, un carácter de verdad, por lo que lo hace independiente del tiempo y de la circunstancia. Y en donde la teoría se remite a realizar la ordenación de los conocimientos. En lo anterior - se advierte que la formalización de la teoría está disociada de los conocimientos y que al parecer son independientes de ésta, no importando la disciplina científica de la que se trate. Esto sólo es posible debido a que la formalización tiene como única función, la sistematización de los conocimientos.

Otra concepción que proporciona más elementos acerca de la forma - constitutiva de la teoría, es la de T. Kuhn, él escribe: "En primer término, una teoría debe ser precisa: esto es, dentro de su dominio, las consecuencias deducibles de ella deben de estar en acuerdo demostrado con los resultados de los experimentos y observaciones existentes. En segundo lugar, la teoría debe ser coherente, no sólo de manera interna o consigo mismo, sino también con otras teorías aceptadas y aplicables a aspectos relacionados de la naturaleza. Tercero, debe ser amplia: en particular, las consecuencias de una teoría deben extenderse más allá de las observaciones, leyes o subteorías particulares, para lo que se destinó en un principio. Cuarto e íntimamente relacionado con el anterior, debe ser simple, ordenar fenómenos que sin ella, y tomando uno por uno estarían aislados y, en conjunto serían confusos. Quinto aspecto, algo menos frecuente pero de importancia especial para las decisiones científicas reales -una teoría debe ser fecunda, esto es, debe dar lugar a nuevos resultados de investigación, debe revelar fenómenos nuevos o relaciones no observadas antes entre las cosas

que ya se saben⁵.

El primer punto que hay que destacar, es que si bien pide Kuhn - que la teoría sea fructífera y de amplios alcances, tiene un dominio, un campo de validez que la delimita.

Por otro lado, establece cinco criterios para la teoría: la precisión, el campo de aplicación o mejor dicho extensión de la aplicación, la coherencia, la simplicidad y la fecundidad.

Los criterios de precisión y coherencia, si bien apuntan hacia la constitución de la teoría, son los mismos que el propio Kuhn plantea para el conocimiento específico, por lo que establece una especie de isomorfismo entre el concepto y su estructura dentro de la teoría, esto en parte, sería de esperar, pero no quedan lo suficientemente claras las especificaciones de la teoría, porque aunque son generadas en la teoría no son la teoría misma. Es por ello, que aún hay que buscar en la forma de la teoría.

Por otra parte, los criterios de aplicabilidad y fecundidad más que requisitos para la teoría, son consecuencia de la formalización y del establecimiento de los conocimientos en cada ciencia.

En cuanto al criterio de simplicidad, resulta un criterio poco convincente, no se encuentra fundamentación en los propios conceptos, ni en la propia estructura del formalismo teórico, ¿en base a qué se juzga la simplicidad?, las teorías científicas cada vez son más elaboradas funcionalmente.

⁵ Kuhn, T. La tensión esencial. Pág. 345 - 346

M. Schlick, apunta: "Vale la pena observar que dicho principio de << economía >> no nos permitirá considerar a ciertos enunciados como definitivamente fundamentales, porque pudiera ocurrir - que, con el progreso de la ciencia, los enunciados fundamentales y que con tal carácter sirvieron en un momento dado, fueron nuevamente degradados, si pareciera más económico abandonarlos en favor de enunciados recientemente hallados y que a partir de ese momento en lo adelante jugarían el papel de fundamento"⁶. Efectivamente, la simplicidad o economía no puede tomarse como principio en la construcción de la teoría científica. De no ser así, estructuras teóricas como la mecánica cuántica, que no tiene siquiera en sus conceptos y postulados fundamentales una relación directa con la evidencia, no podrían pertenecer a la teoría de la Física. Incluso, viendo desde la Historia de la Física, se observa que la evolución de la misma es en el sentido de proporcionar teorías más complejas conceptualmente así como en la instrumentación necesaria para su evidenciación.

Citemos ahora a Heisenberg: "El primer criterio de una << teoría cerrada >> es una carencia interna de contradicciones. Tiene que precisar lo primero de todo, por medio de definiciones y axiomas, los conceptos obtenidos a partir de la experiencia y establecer entre ellos relaciones que puedan dar a los conceptos el simbolismo matemático adecuado para formar un sistema de ecuaciones exento de contradicciones... Al mismo tiempo la teoría debe representar de una manera definida las experiencias o, lo que es igual, los conceptos teóricos deben estar anclados directamente en el mundo de la ex

⁶ Schlick, M. El positivismo lógico. pág. 222

perencia. Jamás podrá discutirse suficientemente la problemática envuelta en este requisito... Aun cuando los límites de la << teoría cerrada >> se traspasen, aun cuando se ordenen nuevos dominios de conocimiento experimental con conceptos nuevos, el sistema de conceptos propio de la teoría cerrada sigue siendo una parte imprescindible del lenguaje que nos sirve para hablar de la naturaleza"⁷. Heisenberg finaliza con los siguientes puntos:

- a) "La teoría cerrada vale para todos los tiempos; las leyes propias de esta teoría resultarán siempre ciertos, siempre y cuando que las experiencias puedan describirse con los conceptos de esa teoría.
- b) La teoría cerrada no tiene afirmación alguna completamente segura sobre el mundo experimental. Por muy amplia que sea la capacidad de captar fenómenos con los conceptos de semejante teoría, ésta sigue siendo en el sentido más estricto insegura y deja abierto el problema de los resultados.
- c) A pesar de esta inseguridad, la teoría cerrada sigue siendo parte de nuestro lenguaje científico y constituye, por lo tanto, parte integrante de nuestro conocimiento del mundo"⁸.

En lo expresado por Heisenberg comienzan a perfilarse los elementos reales que constituyen la especial formalización que caracteriza a la teoría. Estas son las definiciones y los axiomas que yo prefe

⁷ Heisenberg, W. Más allá de la física. Pág. 83 - 84

⁸ Idem pág. 85

ría llamar postulados; ambos conceptos diferentes, con distinto significado y valor epistemológico. Pero esas definiciones y postulados deben poder ser expresables en un simbolismo que les dé unicidad de significado (al menos operativamente). Este simbolismo en el caso particular de la Física, es la Matemática, que lo es al menos por dos razones, una primera para tener una representación - que sea operatoria, que se pueda operar rigurosamente a la vez que dé resultados directamente contrastables con la cuantificación de los observables físicos; la otra para permitir la interrelación entre diversos puntos de vista dentro de una forma estructural, por ejemplo, la relación entre diversas teorías físicas.

Pero además, Heisenberg delimita a la Teoría Física haciéndola prisionera en su propia cerradura, esto es a su forma y a sus concepciones fundamentales. Este paso es necesario ya que de no ser - así, no podrían coexistir las diversas teorías físicas anteriormente enunciadas. Así, la teoría mecánica de Newton, es perfectamente válida dentro de sus propias concepciones de espacio y tiempo - que Newton apunta en su Principio. Por su parte, las concepciones de espacio-tiempo son muy diferentes en la mecánica relativista de Einstein. Sin embargo, ambas teorías, dentro de su propia estructura y concepciones, son teorías válidas y podríamos decir - representativas de la Física.

Finalmente, en su concepción Heisenberg concibe a la Teoría Física como una representación de la realidad, representación que no asegura su identidad, esto es, la Teoría Física es una elaboración que da cuenta de la conceptualización de una realidad circundante. Pero hay una exigencia formal que no puede pasarse por alto en el caso de la Física y es el que la Teoría Física tiene la necesidad de

establecer relaciones con la naturaleza, tiene que proporcionar evidencias. En este aspecto se deja entrever el problema de los universales, dirigiéndose hacia la solución de Ockham.

Hay que notar, que todas las concepciones apuntadas acerca de la teoría, no están libres de problemas.

Veamos finalmente la concepción de E. Agazzi, quien presenta una descripción más completa. Agazzi escribe: "Podemos afirmar - que las teorías físicas son construcciones lógicas por medio de las cuales se pretende deducir el conjunto de las proposiciones concernientes a hechos ya conocidos en un cierto ámbito de investigación a partir de ciertas hipótesis generales (aspecto explicativo), se tiende a deducir de estas mismas hipótesis, unido al conocimiento de ciertos hechos, un conjunto de nuevas consecuencias observables (aspecto predictivo).

Si una Teoría Física se somete a un análisis más refinado, se presenta como un enorme entramado de hipótesis, dispuestas según una especie de orden jerárquico. En la cima del mismo se encuentran las hipótesis más generales, aquellas que en todos los posibles - razonamientos deductivos de la teoría aparecen sólo como premisas. En el extremo opuesto se encuentran aquellas hipótesis que, en las deducciones de la teoría, aparecen típicamente como conclusiones.

Estas últimas son las leyes empíricas más elementales que tienen - el aspecto de simples generalizaciones de los hechos observados... Entre estos dos extremos se colocan aquellas hipótesis que, aparecen como consecuencia de hipótesis más generales y también se pre-

sentan como premisas para deducciones posteriores"⁹.

En la concepción de Agazzi, se reconocen los elementos que dan forma a la teoría y que en todas las concepciones anteriores, se habían dado por supuestos en el orden y la coherencia pero que veremos que son más trascendentes que eso. Agazzi, no sólo describe los elementos y requisitos con los que debe conformarse la teoría, a saber las definiciones, los postulados y los símbolos, así como los requisitos de precisión, de alcance y otros menos justificados como el de simplicidad o economía. Se trata ahora de establecer con mayor rigor, epistemológicamente esas definiciones y postulados dándoles el carácter de hipótesis, con una bien definida relación axiomática entre ellos dada por la lógica formal, con la cual pueden establecerse formalmente deducciones a partir de las premisas establecidas. Con lo anterior, la teoría tiene una doble función, la de explicación y la de predicción. Esta concepción, refuerza la idea original de la no separabilidad de la teoría y del conocimiento que con ella se formaliza, lo cual no implica su identidad.

Agazzi, plantea de alguna manera lo anterior haciendo notar que las teorías físicas son distintas en su construcción de las llamadas teorías axiomáticas. "Una teoría física debe ir más allá de las simples características formales precisamente para merecer su calificativo de física. Desde un principio debe presentarse como un sistema formal que admite una interpretación, dotado por tanto de una referencia a determinados objetos de la experiencia"¹⁰.

⁹ Agazzi, E. Preguntas de la física a la filosofía. Pág. 197 - 198

¹⁰ Idem pág. 198

Pero lo anterior no está libre de problemas, a continuación apunta: "Sin embargo, este punto es también origen de importantes dificultades, puesto que mientras toda teoría bien construida - exhibe de modo satisfactorio, los nexos que ligan entre sí todos sus términos en el seno de la misma, ocurre que ninguna teoría de las que dispone la Física recoge << reglas de correspondencia >> que precisen de un modo exacto la atribución de significado físico a todos sus términos"¹¹. Aquí, Agazzi se sale del contexto de la propia teoría, porque si bien es cierto que existen teorías físicas que en sus bases postulares no tienen de hecho, enunciados extraídos directamente de la experiencia, esto no resta su significado dentro de la propia teoría, esto es, tienen un significado físico, determinado por la propia Teoría Física y que establecen relación de correspondencia con otros observables físicos como por ejemplo la idea de Campo. Además, si no fuese así, no podrían inferirse comportamientos fenomenológicos hacia otros terrenos. Lo que si es cierto, es que precisamente estas inferencias hacia otros aspectos es algo que rebasa a la simple teoría axiomática como tal.

Pero la problemática presentada, viene nuevamente a sugerir que el origen de todas estas dificultades que se presentan para la conceptualización de la Teoría Física, radica en la pretensión generalizada de ver a la Teoría Física como un conjunto de conocimientos obtenidos primero y depurados después de alguna manera para encuadrarlos bajo el esquema y estructura de los sistemas - axiomáticos. como si se tratara en efecto simplemente de una organización.

¹¹ Idem pág. 199

Sin embargo, la distinción no está como propone Agazzi, en que los términos en la Física son inseparables de su significado a diferencia de las lógicas y las matemáticas, puesto que incluso en ellas, no hay términos sin significados, no se construyen esquemas teóricos de una nada, tienen una referencia, si bien en estos casos no es la realidad natural. Aquí es donde la Física se hace distinta de las otras teorías axiomáticas, puesto que tienen una necesidad que no puede dejar de lado, el de hacer evidentes sus enunciados con la realidad misma, requisito que no se presenta a las otras teorías axiomáticas, por ello, es que su construcción es distinta, más sujeta al propio desarrollo de la circunstancia alrededor del conocimiento físico. La Teoría Física, va construyéndose conforme se construye la Física misma.

Veamos ahora cómo llegar a una conceptualización que retome los aspectos apuntados, pero que dé una idea más completa de los constituyentes y sus funciones en la Teoría Física.

Debemos comenzar con lo que fue tal vez la primera idea que presentó claramente la necesidad de establecer una estructura mental para generar y validar el conocimiento y esta es la planteada por Platón.

Platón reconoce inmediatamente que la sensación no es unívocamente el conocimiento, que la sensación, lo percibido, no constituye en sí el conocimiento (idea que expone en varios diálogos por ejemplo en el Teeteto y en Parménides). Por consiguiente, hay otra aportación del sujeto que no es la simple percepción, es necesario darle una forma, esto es, acercarlo o mejor dicho, ponerlo en la forma humana de conocer. Es por ello, que Platón necesita una estruc

tura superior, que tiene que ser por necesidad perfecta. Con -
ello, Platón puede bajo esa estructura o forma, dar una interpre-
tación de la realidad que él contempla.

Pero además, el contar con una forma perfecta, tiene la enorme -
potencialidad de constituirse en el elemento de juicio, en dar -
razón de, en poder discernir lo falso de lo verdadero.

La idea de establecer un isomorfismo entre el conocimiento obte-
nido por Platón, con un orden superior, refleja la necesidad de
establecer su criterio de verdad, su base de juicio con la cual
podrá seguirse la deducción de acuerdo al modelo.

Pero Platón, no llega al planteamiento de la deducción completa-
mente, por no haber desarrollado la formalización que le permiti-
era hacerlo, esto es una lógica, por lo menos de manera explí-
cita.

Es en Aristóteles, cuando la teoría tiene una forma con la cual
pueden los conocimientos constituirse. Aristóteles genera toda
una estructura mental que puede bajo formas silogísticas tautoló-
gicas, extraídas de la reflexión sobre la interacción en el cono-
cimiento, llegar a enunciados, proposiciones que establezcan co-
rrespondencias con el objeto y que además las proposiciones dentro
de esa estructura puedan probar la verdad o falsedad de las de-
ducciones con ellas obtenidas. Esto constituyó un gran paso, co-
mo también el hecho de establecer dentro de la axiomática de su -
lógica, a la causalidad como un elemento indispensable para la ex-
plicación de los eventos. La necesidad de un antecedente que co-
brará realidad en el mismo objeto por ser una potencia del mismo.

Esta formalización no será perdida ya nunca en la ciencia. La lógica de las proposiciones plantea su < propia forma de pensar > como diría Ortega y Gasset, bajo la cual se generará y estructurará el conocimiento e incluso, bajo la cual se establecerán las premisas y los juicios para la construcción cognoscitiva. Ya no es el simple isomorfismo extraído de la analogía de un mundo perfecto tal como lo concebía Platón, ahora bajo la nueva forma se dan los mecanismos que permiten la operacionalización cognoscitiva. Lo anterior, se mostrará con claridad en la forma de establecer el conocimiento que había formalizado la geometría griega. La teoría cobra la posibilidad de acción y no sólo de interpretación, Aristóteles concibe la explicación bajo la relación causal, en la cual existe la necesidad de que todo tenga un precedente o una intención (Aristóteles distingue cuatro causas, formal, material, final y eficiente), reconociéndose así, elementos que sean actuantes o pasivos, pero siempre potenciales. Las exigencias de la lógica de Aristóteles se convierten así en las exigencias para la Teoría Física.

Pero en la formalización establecida por Aristóteles, misma que - perduró hasta bien entrada la Edad Media (aproximadamente siglos - X y XI) hubo siempre la preocupación por valorar no sólo el conocimiento específico, sino la misma axiomatización lógica y sus implikaciones en la elaboración de los conceptos y las teorías. De hecho, no había una concepción clara o mejor dicho, no había un problema en la significación de los conceptos y en su correspondencia con la realidad claramente reconocida. El que cobrara un especial interés por la construcción mental del conocimiento y se reconociese a éste como una representación de una realidad circundante, aparecerá con gran ímpetu en la Edad Media en donde se discutió el -

problema de los universales, dando origen a las posturas realistas y nominalistas, camino preparado por las investigaciones de los siglos XII y XIII.

La posición realista es de alguna manera, una consecuencia de la visión aristotélica retomada por los antiguos pensadores cristianos. Por su parte, la corriente nominalista, hace su aparición con Guillermo de Ockham (siglo XIV). Ockham propone que los universales son una construcción mental del hombre a partir de los hechos particulares, sin concederles existencia propia. Así pues, los conceptos (términos conceptus), son existentes únicamente en el hombre como una construcción, que no tiene realidad más que - en el pensamiento humano. Los universales no son existentes en sí mismos. Esta idea, llevó a Ockham a dos cuestiones muy importantes. Una, la necesidad de establecer un estudio formal de los términos. (Terminus prolatos, términos scriptos y términos conceptus), lo que terminó siendo una lógica de clases terminista, que tuvo gran importancia en la lógica posterior para realizar la formalización de las teorías axiomáticas. La otra cuestión, se refiere a la insistencia de Ockham de obtener los conceptos no como entidades a priori, sino como extraídas de la experiencia, lo que llevó a concluir la posibilidad de establecer conocimiento - acerca de las cosas, sin la necesidad de recurrir a órdenes preestablecidas (como el platónico y el cristiano).

La primera de estas cuestiones, fue de gran importancia para la conceptualización de la Teoría Física y su expresión en la forma matemática, puesto que la lógica de términos y sus implicaciones, permitió dar nuevos elementos sobre todo de adecuación y significación de los términos y las proposiciones, así como de su estruc

tura dentro de la lógica que los interrelaciona. A fin de cuentas permitió la reflexión sobre la propia teoría como un todo y - no sólo sobre sus conceptos individuales.

El segundo punto, el recurrir a los particulares perceptuales pudiera parecer en principio más trascendente, pero como bien señala Copleston, a Ockham no le interesaba tanto la Física como la Teología y la Metafísica, por lo que no podía extraerse una implicación directa hacia esa ciencia. Por otra parte, el referirse en la Física a la experiencia, como una fuente de la cual deberían extraerse y verificarse los conocimientos, era algo que los pensadores del siglo XIII habían establecido, de hecho, habían realizado una importante labor experimental, podríamos citar a Grossetesta, Bacon y Federico de Freiberg entre los más representativos.

Además, es precisamente en este último punto de la experiencia, donde se generan algunos problemas, porque si bien es cierto que Ockham da existencia al universal como una creación del hombre a partir de las evidencias o experiencias particulares (lo cual constituía un paso de distinción muy importante para generar la idea del hombre creador de conocimiento y no simplemente un ordenador de sensaciones), nunca queda establecido un mecanismo mental para generar los conceptos. Así, seguía abierto el problema de establecer bajo qué mecanismos cognoscitivos es que podía generarse la universalidad de un terminus conceptus para usar la terminología de Ockham en función de los particulares que constituyen los observables físicos.

Este estado de cosas y las contribuciones del nominalismo con su énfasis en la forma lógica de la simbología y sus significados, se hizo significativo para la Física con el trabajo de Stevin y principalmente Galileo quien encontró en la formalización matemática la manera de poder representar los conceptos físicos, así, la Teoría Física compuesta de conceptos comenzaría a tomar forma bajo otros universales a saber, los axiomas de la lógica y la matemática.

Pronto las matemáticas cobrarán mayor significación que la sola representación y la operacionalización, y se irán convirtiendo en la propia definición de los conceptos y en la formulación de las acciones. En las funciones y formas nuevas que en su tiempo generaron Newton, Leibniz y Descartes. Con la matemática creada fue posible la deducción dentro del esquema formal, dentro de la propia teoría, es decir, la generación de los conceptos y explicaciones físicas se volvían intra-teóricos.

Incluso, para Leibniz, no bastaba la exigencia causal de Aristóteles para quien el evento debe tener un precedente, ahora la teoría, tenía que tener principios o axiomas y lo importante radicaba en que a ellos les siguiera algo, y aún más, debería haber axiomas tanto para la propia teoría como para el pensamiento.

Con este tipo de formulación, prácticamente quedaba establecida - la Teoría Física y los principios y postulados comenzarían a tener especial significación, como los principios de Mínima Acción, Conservación del Impetu o como los postulados de Einstein y Bohr.

Para la aparición de la nueva Física, podríamos decir que la estructura formal de la Teoría Física estaba establecida. Las nuevas -

teorías, sólo tenían que establecer puentes (dentro de la propia formalización) entre ellas y la Física Clásica, de ahí la necesidad de principios como el de Complementaridad y el de Relatividad.

Para finalizar, diremos que es posible concebir a la Teoría Física como un formalismo explicativo y deductivo, axiomático en su forma de construcción. La formalización está dada por la lógica que constituye su esquema de pensamiento y del cual no puede salir sin perder su carácter riguroso. Esa estructura de pensamiento es una lógica proporcional (en su actual contexto) con todas sus implicaciones axiomáticas. Dicha forma de pensamiento tiene su manifestación, tanto en la acción que cobra realidad con el experimento como en la expresión y deducción bajo el lenguaje matemático que le es propio a la Física. Con lo anterior, se constituye que tanto la deducción como la acción en la realidad están regidas por la propia teoría, es decir, toda la generación nueva de acciones, conceptos y deducciones es intra-teórica.

De esta concepción, se desprenden aquellos requisitos como la precisión, la coherencia, la necesidad de utilizar definiciones y postulados, etc., que enmarcan las ideas de la Teoría Física anteriormente analizadas. Además, se ha hecho ver que a estas concepciones de teoría, se ha llegado a partir del propio desarrollo de la Física y de otras disciplinas como la Lógica y las Matemáticas, que han estado en estrecha vinculación.

Sin embargo, hay que considerar con todo detalle, las concepciones de lo que son los conceptos físicos y de cómo se generan; del establecimiento de su definición mediante tautologías y relaciones de equivalencias matemáticas, y su expresión mediante una fun

ción que implique relaciones de acción, así como también en el establecimiento de la experimentación y el análisis de la misma con los recursos de la propia teoría.

La Teoría Física, constituye un modelo para la representación de la realidad en el cual, se formalizan los procesos de conocimiento. Esto hace que los observables físicos cobren su total dimensión sólo dentro de esa representación, referidos a los propios objetos que la teoría construye a saber los conceptos físicos y sus relaciones funcionales. Sólo con el análisis al interior de la teoría es que podrán emitirse juicios de verdad en relación a ella y a sus significantes, lo cual se logra en la deducción formal y la experimentación.

CAPITULO III

EXPERIENCIA, PERCEPCION Y CREENCIA EN FISICA

LA EXPERIENCIA EN LA FISICA

En toda idea del conocimiento, aparece al frente de toda consideración la experiencia, el contacto con la realidad circundante en cualquier forma que ésta se conciba. Es por ello que la experiencia ha sido origen de muchas concepciones filosóficas. Pero nunca ha podido omitirse. La experiencia como fuente única o no de conocimiento está presente; es el darnos cuenta de nuestra existencia en la relación que con ella, se establece de otros existentes.

Así, aun en las posturas más extremas en contra de la experiencia como medio de conocimiento por ejemplo, en Platón y Descartes, ha sido necesario el considerar la interacción del hombre con los particulares a través de las sensaciones que la experiencia proporciona.

Pero así como siempre se ha reconocido en la percepción o la experiencia directa, inmediata, la manera de tener contacto con lo exterior, de percibir su existencia, también se ha determinado que esa misma sensación no es un único elemento de juicio, esto es, no proporciona un conocimiento verdadero. Lo anterior plantea así, un serio problema puesto que lo que nos da cuenta de las cosas, como entes existentes y por tanto verdaderos también puede proporcionar falsedad no sobre la existencia, sino sobre su presentación y por tanto su representación. De ahí la desconfianza de la simple percepción.

La solución de Platón, es el plantear los elementos de juicio en algo que está más allá de la experiencia directa en la forma humana de conocimiento, tomando como elemento de juicio, un mundo coherente y comprensible, que está en las ideas innatas.

Pronto Aristóteles, en sus estudios de la naturaleza, reconocerá que la experiencia sensible, es un requisito fundamental para el conocimiento de la naturaleza, de ahí la idea de la tabla rasa, en donde dejan su presencia las sensaciones. "En efecto, no solamente su teoría del conocimiento otorga un alto valor a la experiencia -nihil est in intellectu quod non prius fuerit in sensu, dirían sus continuadores medievales- sino que su sistema de la naturaleza es rico en contenido empírico"¹. Pero Aristóteles reconoce que no es sólo la experiencia la constitutiva del conocimiento, (no hubiera tenido la necesidad de generar una lógica) de alguna manera, hay operaciones mentales que hacen inteligible la percepción, con la cual pueden elaborarse proposiciones que pueden someterse a juicios en relación a los mismos y a otras percepciones.

Esta idea será retomada y defendida posteriormente por Santo Tomás de Aquino. Para Sto. Tomás de Aquino, la experiencia, entendida como la percepción de las cosas, es efectivamente, el origen del conocimiento, pero no es el conocimiento mismo, como él escribe: "debe hacerse inteligible", la actividad intelectual no es algo pasivo en él, no simplemente se reciben las impresiones de la experiencia. "No se puede decir que el conocer

¹ Blanché, R. El método experimental y la filosofía de la física.
Pág. 12

de la experiencia, es el conocimiento total y perfectamente la - causa del conocimiento intelectual, sino que sólo es en alguna ma - nera, la causa material"².

A partir de estas concepciones sobre la experiencia y el conoci - miento intelectual, diremos elaborado, surge el problema de los universales, que hemos apuntado en el capítulo anterior, pues si bien se reconoce al conocimiento como una elaboración a partir - de la experiencia, no se tenía ninguna idea de este tipo de elab - oración, pues bien podía ser que se tratase del reconocimiento de universales en una especie de generalización, que reconocía la existencia del universal como un ente metafísico. Por otro lado, surgirá la idea de Ockham de concebir al universal como una cons - trucción mental sin referencia a su percepción, esto es sin reali - dad propia, sino como una construcción a partir de los particula - res.

Con lo anterior, la experiencia jugará el papel central en las - epistemologías que se elaboraron posteriormente, llegando al empí - rismo radical (y realista) y por el otro, al racionalismo, con - las teorías innatas y los esquemas a priori.

En el extremo en el que la experiencia constituye la única fuente del conocimiento se encuentran aunque con diferentes formas, las obras de Hobbes, Locke, Berkeley y Hume.

Por otro lado, se encuentra a Kant, quien a pesar de establecer -

² Aquino St. Tomás. Summa Theologica. Vol. I Pág. 418

su idea de conocimiento a través del conocimiento a priori, no - niega a la experiencia como fuente del mismo, sino que no se limita a considerarla como la única forma del conocimiento. Así, Kant escribe: " << No puede haber duda de que todo nuestro conocimiento empieza con la experiencia... Pero aunque todo nuestro conocimiento comienza con la experiencia, de ello no se rige que todo él proceda de las experiencias >> "3. Copleston agrega que: "Kant coincidía con David Hume en que no es posible derivar de la experiencia la necesidad, ni la universalidad estricta"4. Lo que se para entonces a Kant de la posición empirista, lo encontramos en - el siguiente escrito: "El espíritu necesita por así decirlo, ser puesto en contacto con las cosas a través de la atención de los sentidos... De todos modos, la intuición sensible no se puede reducir simplemente a afecciones a posteriori de nuestros sentidos por las cosas. Kant llama < apariencias > al objeto de una intuición empírica sensible. Y en la apariencia podemos distinguir dos elementos. Primero la materia. Esta se describe como < lo que corresponde a la sensación >. Segundo, la forma de la apariencia. Y ésta se describe como < lo que permite que la multiplicidad de la apariencia se disponga según ciertas relaciones >. Ahora bien, la forma, como distinta de la materia, no puede ser ella misma sensación... Por lo tanto, mientras que la materia está dada a posteriori la forma tiene que caer de la parte del sujeto; o sea, tiene que ser a priori, una forma a priori de la sensibilidad, perteneciente a la estructura misma de la sensibilidad y constitutiva de una - condición necesaria de toda intuición sensible"5.

3 Tomado de Copleston, F. Historia de la Filosofía. Vol. VI Pág. 211

4 Idem pág. 211

5 Idem pág. 212

El pensamiento de Kant, es muy sugestivo y difícil de superar en su concepción, y no es de extrañar que sea aún en la actualidad un sistema vigente aunque claro está con otra simbología y conformación como por ejemplo, en la Psicología Genética de Piaget o en C. F. Waizsäcker. Ahora bien, también para una concepción de la experiencia física es sugerente, y las formas rigurosas de experimentación y análisis, bajo las lógicas correspondientes parecen - confirmar esa idea del conocimiento a priori; sin embargo, se verán elementos que van más allá de la simple postulación del conocimiento a priori, para dar una conformación al pensamiento estructurante en la experiencia que, visto desde lejos parece confirmar la tesis kantiana.

Sin embargo, a pesar de todas las posiciones filosóficas que se fueron generando entorno a la experiencia y el problema de los universales, el desarrollo propio de la Física se realizó un poco al margen de esas concepciones. Como puede observarse en el primer capítulo, la experiencia ha regido el desarrollo de la Física. Desde los pensadores griegos encontramos una intensa labor experimental, basta con citar a Arquímedes y a Ptolomeo y sus trabajos de estática y óptica respectivamente. En la Edad Media como se ha apuntado, también hubo una intensa labor experimental tanto por parte de los árabes como de los europeos, los nombres de Al-Hazen, Grosesta, Bacon, etc., son representativos del desarrollo de la Física. Posteriormente, una labor experimental más intensa y significativa, será desarrollada por Torricelli, Stevin y Galileo. Incluso en pensadores como Leibniz, Newton y Huygens que desarrollaran prácticamente la Teoría Física, la labor experimental es parte importante de su trabajo.

Lo anterior, no es sorprendente si vemos que un requisito que no se puede omitir en la Física, es que tiene que ser y hacerse evidente. Desde el momento que trata de explicar y de interactuar con objetos y eventos que sólo pueden ser alcanzables con la experiencia, ésta no puede omitirse. Hay que notar que ésto no implica en ningún momento el que no se puedan tratar eventos no directamente perceptibles, puesto que la propia Física genera sus formas de deducción teórica y de experimentación, que como veremos, radica en la medición. Por otro lado, tampoco debe entenderse lo anterior, en el sentido de que los personajes de la Física, hayan estado completamente al margen de las cuestiones filosóficas, siempre hubo una estrecha relación entre los dos campos y tenían evidentemente una posición epistemológica. El hecho radica en que a pesar de ello, la Física exigía el tomar en cuenta la experiencia sensible.

En la actualidad se han atacado nuevamente las cuestiones acerca de la estructura de la ciencia como se apuntó en el capítulo anterior, por lo que la experiencia, también ha sido analizada, incorporando aunque no siempre de manera explícita las concepciones desarrolladas por la Psicología.

Veamos algunas de esas concepciones. Para Wartofsky la experiencia constituye únicamente el dato, como una imagen completa de la realidad, sin ninguna aportación del sujeto, más que en la posterior organización de colecciones de datos. Así escribe, "Tal dato en bruto, dado inmediatamente en la experiencia, se somete luego a elaboración por el sistema perceptivo: Trabaja sobre él; sería la entrada sobre la que luego procederíamos a actuar, ordenán-

dola e interpretándola y sacando conclusiones de ella"⁶.

Pero esta interpretación de la experiencia, concuerda completamente con las ideas de fines del siglo pasado en el que se pensaba en una Física terminada. Así, a Poincaré, podríamos considerarlo como un digno representante de esa Física. Poincaré parte indudablemente de que la fuente de conocimiento es la experiencia; "La única fuente de verdad es la experiencia; sólo ella puede enseñarnos algo nuevo, sólo ella puede darnos la certeza. Estas son dos afirmaciones que nadie puede discutir"⁷.

La concepción de experiencia de Poincaré es la de hacerla equivalente a la observación, y a fin de cuentas a la medida, o como él lo llama en el dato. A continuación agrega: "La experiencia no nos dá más que un cierto número de puntos aislados, es preciso reunirlos en un trazo continuo..."⁸. Poincaré resuelve el problema del conjunto de datos, de experiencia directa como él le llama, con el orden y con la generalización, generalización que para este pensador es la parte clave de la construcción de la ciencia.

Con la incursión de la lógica en el problema de la construcción del conocimiento científico, ésta posición inductivista no será ya retomada. Así, se marcará definitivamente la diferencia entre la percepción sensorial y la experiencia como algo que opera sobre la sensación y que es lo que finalmente integra el sujeto. "La

⁶ Wartofsky M. W. Introducción a la filosofía de la ciencia. Pág. 137

⁷ Poincaré, H. Filosofía de la ciencia. Pág. 41

⁸ Idem pág. 43

percepción inmediata según esto, es la percepción que no implica elemento inferencial alguno, mientras que la percepción mediata (reflexiva o de la experiencia) implica tal inferencia"⁹. El mecanismo cognoscitivo, se centrará en la lógica, así la analogía jugará un papel importante en la percepción. Cohen y Nagel escriben: "Ahora bien, es un error suponer que siempre observamos explícitamente analogías precisas y luego desarrollamos de manera racional sus consecuencias.

Por lo general, partimos de una sensación no analizada de vaga analogía, que permite descubrir una analogía explícita en la estructura o la función sólo mediante una cuidadosa investigación"¹⁰.

El acudir a los mecanismos de pensamiento y a la lógica como expresión de ellos, dió origen a muchas concepciones acerca de la interpretación de lo sensible y su incorporación al sujeto mediante dichas formas. T. Kuhn, escribe: "El pensamiento tiende al puente desde la parte perceptible de la realidad hasta la imperceptible. Es el que vincula la percepción al sistema mediante el concepto, planea la operación experimental e interpreta el resultado"¹¹.

Por otro lado tenemos concepciones anteriores, pero que van en la misma dirección. Según Whitehead, "la naturaleza ha sido convertida en un mundo cualitativo aprehendido en la percepción, así como en un mundo fuente de estas propiedades"¹² y "... según Edington es en la ciencia donde se realiza el contacto con la realidad. En efecto, todo nuestro conocimiento del mundo circundante nos llega bajo la forma de unos mensajes transmitidos a lo lar

⁹ Armstrong, A. M. La percepción y el mundo físico. Pág. 37

¹⁰ Cohen y Nagel. Introducción a la lógica y al método científico. Pág. 41

¹¹ Kuhn, T. La estructura de las revoluciones científicas. Pág. 172

¹² Nagel, E. Razón Soberana. Pág. 98

go de las fibras nerviosas hasta la cede de la conciencia... Por consiguiente, el material de la realidad con la que se entra en contacto directo tiene un carácter mental"¹³.

Finalmente W. Sellers en *Ciencia, Percepción y Realidad* escribe: "Así pues, en la imagen manifiesta se conciben los pensamientos no a base de su < cualidad >, sino como algo < que pasa > internamente, es análogo al habla y se expresa en ésta: no es accidente que se aprenda a pensar en el proceso mismo de aprender a hablar.

Desde este punto de vista podemos apreciar el peligro existente - de malentender lo que se encierra en el vocablo < introspección >. Pues si bien existe, sin duda alguna, una analogía entre el directo saber que tenemos de nuestros pensamientos y el saber perceptual que tenemos de lo que pasa en el mundo en torno nuestro, se trata de una analogía que sólo es válida en tanto en cuanto ambas cosas, la autoconciencia y la observación percepción, son formas básicas del saber no inferencial"¹⁴.

En todas estas concepciones de la experiencia, se apunta que ésta no sólo se constituye de las sensaciones perceptuales. Los procesos mentales son parte activa en el total de la experiencia, de hecho, los procesos mentales son entendidos dentro de la lógica, como las formas inferenciales por analogía en el caso más simple y otro tipo de procesos lógicos más complejos, con ello aparecen en la experiencia elementos que no son simples ordenadores como -

¹³ Idem Pág. 99

¹⁴ Sellers, W. Ciencia, percepción y realidad. Pág. 41

en la concepción más común, sino en procesos estructurantes de la percepción que dentro de un contexto (que veremos con las creencias) dan significado a la experiencia, tanto es eso así, que pueden expresarse mediante un simbolismo con estructura lógica, sean matemáticas, sea simplemente el lenguaje. Sin embargo, en la Física, la experiencia tomará una forma particular, generada por la misma Teoría Física como se expuso en el anterior capítulo.

PERCEPCION Y CREENCIA.

Lo primero que tenemos que reconocer es que el hombre se encuentra con su circunstancia, con el universo en el cual vive, en el que se ubica. Por ello, tiene que localizarse al igual que toda la realidad que le es presente en un espacio-tiempo, como diría Ortega y Gasset < en un aquí y en un ahora >. Este aquí y ahora constituye el marco referencial desde el cual en cada instante, el hombre percibe su mundo. Pero a la vez, este aquí y ahora, hace que la percepción de ese mundo sea propia de cada hombre, es la percepción particular de la realidad circundante.

Esto queda claro, puesto que aunque alguien ocupase el lugar (el aquí) de otro, tendría por necesidad que ser en otro tiempo (en otro ahora). Pero también cuando se comparte el ahora no puede haberse la percepción espacial desde el mismo lugar por muy cercano que éste pueda ser. Esta espacio-temporalidad única del hombre es determinante de su individualidad. Incluso con la Física Relativista, esto queda formalmente establecido al no existir la simultaneidad espacio-temporal para dos observadores en dos estados.

Pero esta determinación espacio-temporal, no indica que la percepción del hombre no sea una realidad, ni que no podamos determinar que una cosa exista o no, o que tiene determinadas características directamente detectadas por los sentidos como la dureza, el color, etc., lo que sí implica es la experiencia personal, es precisamente eso, una interiorización personal, a partir desde el aquí y el ahora desde el cual se percibe, se contempla.

La percepción, concibiéndola aisladamente, esto es, identificándola con la sola sensación, es algo común, podríamos decir que se da de la misma forma en todos los sujetos, por ejemplo, el mirar un árbol; hay una forma de contacto única para el hombre de la percepción visual del objeto.

Sin embargo, esa percepción está dada desde un lugar y un tiempo particular y esto nos lleva a decir por un hombre particular y por consiguiente con la estructura o forma de pensamiento particular, el objeto es visto con una forma de conocimiento particular, a través de un conjunto de creencias y de formas estructurantes de las mismas.

Con ello afirmamos las concepciones modernas de experiencia, en el sentido de que ésta se constituye con algo más que lo sensible, con lo que aporta el sujeto.

La experiencia se constituye así, en esa percepción espacial y temporalmente determinada que es contemplada a partir de las creencias y de las formas estructurales de pensamiento. Pero esta experiencia debe ser entendida no como una doble acción separable entre la pura percepción y la reflexión, sino como un todo, en un aquí y un ahora determinados, en los cuales se conjuguen al mismo tiempo, las

creencias y las formas estructurales de pensamiento, coparticipes en la percepción. La experiencia es pues, la conjunción de todos estos elementos en el sujeto.

Armstrong, escribe: "... nuestras impresiones sensoriales no sirven, en realidad, de evidencia a nuestras creencias del mundo físico, sino que no son nada más que nuestra adquisición de creencias innatas acerca del mundo"¹⁵. Pero aunque efectivamente las creencias tienen una dependencia estrecha con la percepción, no es la simple percepción la que establece la creencia, tiene que ser una experiencia evidenciada o inducida por una colectividad. Además - esas nuevas creencias salvo en el inicio de la vida, tienen otras creencias en las cuales la percepción se hace experiencia con todo el significado que hemos apuntado. Por otro lado, es falso que la experiencia y la percepción no sean evidencias para nuestras creencias. De ser así, ¿por qué la necesidad de la experiencia repetida?

Cuando tenemos una experiencia que va en contra de nuestras creencias, nuestra primera acción es reforzar la creencia, la forma de hacerlo es repetir la experiencia con la expectativa de confirmar nuestras creencias. Sólo cuando la repetida realización de la experiencia se muestra en contra de la creencia, ésta puede ser modificada, sustituida por otra. Queda ahora incipiente la idea - de que el reconocimiento de creencias generará problemas que conformen el pensamiento.

Cohen y Nagel expresan muy acertadamente: "... hemos sugerido que

15

Armstrong, D. M. La percepción y el mundo físico. Pág. 170

si las modificaciones de nuestro medio familiar, o nuestra mera curiosidad no conmueven y arrojan dudas sobre nuestras creencias habituales, existen dos posibilidades o no pensamos en absoluto, o nuestro pensamiento tiene un carácter rutinario"¹⁶.

En la ciencia, nos encontramos en el mismo esquema, sólo que aquí ya no se tratarán con las experiencias cotidianas. En este caso las creencias y las formas de pensamiento, están dadas por los elementos de la teoría científica en particular.

El científico en sus experiencias, también tiene su determinación espacio-temporal en la percepción de los eventos en los observables físicos. Pero sus creencias, son sus creencias en su teoría científica, sus conceptos, postulados y definiciones y su estructura de pensamiento, la propia estructura de la Teoría Física.

De aquí que la experiencia científica sea intra-teórica, es decir, percibida desde la propia teoría. Pero y ésto debe quedar claro, desde la propia teoría en el sujeto con toda su individualidad.

Esta característica de la experiencia en la ciencia de ser intra-teórica, nos conduce inmediatamente a rechazar el inductivismo como la simple generalización de eventos o enunciados como los llaman los lógicos, puesto que hay implicados elementos deductivos en la propia experiencia. Pero también descarta la solución de K.R. Popper, puesto que no son separables los enunciados físicos de su generación, para ser simplemente falsados en los mecanismos

¹⁶ Cöhen M. y Nagel E. Introducción a la lógica y al método científico.
Vol. II pág. 17

lógicos de la teoría, sería volver al caso de caracterizar a la - teoría científica como una forma de prueba y no de construcción - de conocimiento.

Por otro lado, esta concepción ofrece una idea de explicación a - la observación de Kuhn del desarrollo de la Física, en el proble- ma de los paradigmas. Kuhn escribe: "Contrariamente a la impre- sión que prevalece, la mayoría de los descubrimientos y las teorías nuevas de las ciencias no son meras adiciones al acopio existente - de conocimientos científicos. Para asimilar unos y otros, el cien- tífico debe reorganizar su equipo intelectual e instrumental en que ha venido confiando, y descartar algunos elementos de su credo y - prácticas anteriores hasta encontrar nuevos significados y nuevas - relaciones entre muchas otras"¹⁷. Para Kuhn, en ésto consiste el trabajo científico, en que en una determinada época existe una meta común, el paradigma a esclarecer. "Los hombres cuya investigación se basa en paradigmas compartidos, están sujetos a las mismas nor- mas y reglas para la práctica científica. Este compromiso y el - consentimiento aparente que provoca son requisitos previos para la ciencia normal, es decir, para la génesis y la continuación de una tradición particular de la investigación científica"¹⁸.

Así, la idea de las mismas reglas y normas que Kuhn plantea, esta- rán dadas por la estructura de la teoría, siendo las diferencias - de solución, las establecidas en la experiencia de cada sujeto, ex- periencia entendida en el esquema propuesto. Esto aclara lo apun- tado en el capítulo precedente de la posibilidad del sujeto de apor-

¹⁷ Kuhn, T. La tensión esencial. Pág. 249

¹⁸ Kuhn, T. La estructura de las revoluciones científicas. Pág. 34

tar tanto a los conceptos como a la estructura de la propia teoría.

Pero esta concepción de la experiencia en la Física, plantea un problema: ¿bajo qué forma se realiza la experiencia en la Física que le permite ser representada y relacionada dentro de la Teoría Física? La respuesta está en la determinación de los observables físicos, que los hace comunes a todo observador físico, esto es, en la medición. El medir en Física, es parte indispensable de la construcción del pensamiento físico.

Aunque parezca extraño, éste es un punto que ha sido siempre descuidado por la Epistemología de la Física, incluso en los tratados de Historia de Física. Es una opinión generalizada que la medición es un simple acto que asocia un número a una entidad física, como si - fuese un acto innato, y alejado del conocimiento y la estructura de pensamiento de la ciencia.

LA MEDICION

Es sorprendente el no encontrar referencias en las historias de la Física acerca del desarrollo del concepto de medición y de su paralelismo con el desarrollo conceptual y técnico de la Física.

Este punto de vista, de lo innato de la concepción de medir, lo encontramos frecuentemente tanto si lo pasan por alto como si lo expresan. Por ejemplo, Wartofsky escribe: "La medida es una de las cosas básicas que hacemos de día y de noche, en invierno y en verano, en todas las estaciones y cualesquiera circunstancias.

Reconocer y conservar el orden es una condición que han de cumplir en general, todos los organismos vivos y en un sentido lato, un organismo es un sistema de actividades que se conserva mediante un aparato de medida o mediante un mecanismo que se regula así mismo a base de medidas"¹⁹. Aunque Wartofsky, hace la distinción de la conciencia que implica las mediciones sobre los objetos y reconoce este tipo de medición importante para la ciencia, la concepción de medición sigue teniendo en el fondo un origen inherente a los sujetos. Así, continúa, "El proceso de medida surge, pues, de las necesidades de la existencia práctica y, por esotérico que lleguen a ser sus operaciones fundamentales continúan formando parte de la urdimbre y la trama del tejer cotidiano. Como cabía, por tanto, esperar los conceptos de la medida pasan a ser parte del lenguaje habitual, y se incorporan a sus términos más comunes y a su propia escritura"²⁰.

Incluso dentro de los físicos y lógicos, encontramos estas concepciones. V.R. Campbell escribe: "Medición es una de las varias nociones que la ciencia moderna ha tomado del sentido común. La medición no aparece ciertamente como parte del sentido común hasta que no se alcanza un estadio de civilización relativamente alto, - por otra parte, ya la concepción de medición propia del sentido común ha cambiado y se ha desarrollado enormemente en el curso de los tiempos históricos. Al decir que la idea de medición pertenece al sentido común no pretende afirmar sino que se trata de algo plenamente familiar a cualquier persona civilizada de hoy día. La

¹⁹ Wartofsky, M. W. Introducción a la filosofía de la ciencia. Pág. 204

²⁰ Idem pág. 205

medición puede definirse en general como la atribución de números a propiedades, para representarlas"²¹.

Es por estas ideas sobre la medición, que se pasa frecuentemente por alto al hablar sobre el conocimiento científico del desarrollo de la medida en la ciencia. Dentro de los pocos autores que reconocen la importancia de la medición en el desarrollo de la Física, se encuentra a Kuhn, quien escribe: "En cada uno de estos casos (las teorías científicas) resultó extremadamente difícil hallar muchos problemas que permitieran la comparación cuantitativa de las teorías con la observación. Incluso al encontrarse tales problemas fue necesario que los más destacados talentos científicos inventaran aparatos, redujeran efectos perturbadores y estimaran la tolerancia relativa a los que persistían. Esta es la clase de trabajo que la mayoría de los físicos hacen la mayor parte del tiempo en la medida en que sus trabajos son cuantitativos"²².

Además escribe: "Tanto la medición como las técnicas cuantitativas desempeñan un papel de particular importancia en el descubrimiento científico; y esto es así, precisamente, porque sirven para que se manifiesten las anomalías y les dicen a los científicos cuándo y en dónde buscar nuevos fenómenos cualitativos. Usualmente nos dan indicios sobre la naturaleza de ese fenómeno. Cuando la medición se aparta de la teoría, lo más probable es que el resultado sea de puros números, y la naturalidad intrínseca de éstos los hace estériles como fuente de ideas para hallar el remedio"²³.

²¹ Campbell, M. D. Medición. El mundo de las matemáticas de V. Neuman. Vol. V. Pág. 186

²² Kuhn, T. La tensión esencial. Pág. 216

²³ Idem pág. 229

Pero a pesar de este reconocimiento, Kuhn, sigue pensando en la medición primero como simplemente utilitaria para la comprobación; segundo, como una correspondencia numérica, pero no establece la forma de dicha correspondencia y tercero, la medición sigue siendo independiente o puede serlo como él lo expresa de la teoría por tanto, no reconoce en el proceso de la medición, su concepción y desarrollo de la propia teoría.

En un principio, estas ideas intuitivas podrían parecer suficientes porque son descriptivas de la acción de medir, efectivamente, podríamos describir la medición como un acto de comparación con el cual pueden asignarse números ordenados a los observables físicos, pero esta descripción no es suficiente.

De hecho, la concepción de medición viene estrechamente relacionada primero con la clasificación y luego con la analogía, dos de los aspectos primeros en una lógica.

Lo anterior se plantea así, porque la clasificación del mundo circundante es el primer paso que tiene que hacer el hombre para poder establecer diferencias y semejanzas entre las cosas que percibe bajo la directriz por él establecida, por consiguiente, desde un principio aparece la similitud, que en la clasificación se dará en él sólo reconocimiento de ella, pero que en la comparación intencionada, se volverá idea de acción central en la medida.

Después aparecerá la analogía en una especie de isomorfismo, isomorfismo que se establecerá con el hecho de contar. El contar, es ahora sí, el establecer una correspondencia entre observables físicos o cosas y el conjunto en este caso, de los números naturales. Hay que hacer notar que este hecho de contar (que como he-

mos visto se confunde totalmente con medir) no es tampoco algo innato, puesto que implica el poder tener la representación abstracta del número, para poder establecer el isomorfismo con las cosas que contará. Una vez que aparece la idea de cantidad, como la comparación entre lo contado, se tiene que establecer la idea de orden, esto es, el reconocimiento del mayor que; del menor que; del igual que.

Cabe aclarar, que los procesos descritos no deben analizarse como sucesos secuenciales dentro del desarrollo de la acción real de medir. De hecho, son inseparables pues pertenecen a la estructura de pensamiento del sujeto, como una función integradora.

Ahora bien, no todo lo que se percibe en principio es susceptible de ser contado, la mayoría de las cosas se nos presentan como un continuo, que no admite el isomorfismo con lo discreto, no es posible asociarle un ente con un valor determinado a otro que no está acotado. Esto implica directamente que ninguna medición que se realice sobre el continuo puede ser exacta. De hecho formalmente en Física, no es posible hablar de mediciones exactas. Sólo el continuo es isomorfo con el número.

De lo anterior, se desprende la partición infinita de los números, para acercarse a la idea del continuo y tener con ello un elemento para la similitud. "En general, podemos decir, que la medición fundamental, es realizada cuando podemos asignar un homomorfismo de un sistema observado (empírico) hacia algún sistema numérico"²⁴. Sólo con lo apuntado anteriormente, cobra sentido esta definición operacional que establece la teoría matemática de la medición.

²⁴ Roberts, S. F. Measurement theory. Pág. 54

Sin embargo, nos damos cuenta que en estas definiciones operacionales no quedan establecidas las aportaciones del sujeto en el acto de medir, porque si bien la idea de similitud lleva al isomorfismo, o en el caso matemático al homomorfismo, no queda explícito que el sujeto aporte elementos a la interacción sujeto-objeto en el acto de medir, y que es precisamente en esta interacción en la cual está presente en el sujeto su idea (en el caso de la Física, su idea bajo la teoría) del objeto, por lo que cobra significado la unidad de medida, unidad que será el eje central de la similitud. Pero además, esta unidad es discreta, tiene un valor único, por lo que el isomorfismo no puede darse totalmente con las cualidades observables del evento o del objeto y aunque tal unidad se pueda fraccionar indefinidamente en el esquema conceptual, en la práctica sigue estableciéndose el conteo como única forma de cuantificar. Así, la medición sigue siendo un conteo, pero ahora no es un conteo de entidades indivisibles, sino un conteo por comparación, entre esas unidades y múltiplos o submúltiplos de ellas con el observable. De aquí la necesidad de establecer operativos formales para determinar la incertidumbre asociada a la medida, donde el papel fundamental de dicha incertidumbre radica en que con ella y su traslapamiento en cada unidad mínima, se puede simular al continuo. Es esta la semejanza con la cual puede medir el sujeto, puede contar, pero no puede asignar un valor único al conteo.

De lo anterior, se concluye que las definiciones apuntadas anteriormente no correspondían a la realidad de la medida, puesto que el isomorfismo supuesto, entre números y realidad no es tal. Es una semejanza dentro del esquema propio de análisis que aporta el sujeto, es decir, se vuelve una acción intra-teórica.

Ahora bien, el hecho de establecer en el conteo a la medición a través de la comparación entre lo observable y otra realidad en este caso creada que es el instrumento de medida, es lo que hace posible la acción de descentración y objetivación que radica en la cantidad asociada.

El patrón y por consiguiente, el instrumento de medida, es la forma de concretar la abstracción que la imagen teórica proporciona de la realidad. "Una física que reposa sobre el conocimiento de las dimensiones exige en forma evidente a los instrumentos de medida"²⁵.

Con el establecimiento formal de la medición, se genera la propia forma de observación. Efectivamente, en Física, observar es medir, y los observables físicos cobran realidad operable en la cuantificación. Sin la cuantificación, no sería posible tratar de establecer la similitud entre la proposición física (que tiene en su lenguaje la igualdad matemática en la relación funcional de los observables físicos) y los observables físicos. Esto es, no habría forma de referir la teoría a la realidad y por el contrario, tampoco sería posible que la realidad proporcionara los elementos de juicio para la teoría.

Hemos visto, que la medición no es únicamente la acción comparativa con la cual puedan asignarse cantidades a los observables físicos. La medición implica el contar con una concepción del observable físico, una concepción abstracta de una partición infinita de unidades, el establecimiento de un isomorfismo entre tales con

²⁵ Blanché, R. El método experimental y la filosofía de la Física. Pág. 45

cepciones y su conexión en un instrumento que permita la interacción de unas ideas con la realidad física, con el observable físico real. Pero claro está, la posibilidad de observar en la Física, se da sólo porque se ha contemplado a través de las creencias que para el físico, radican en su concepción física del mundo, hacia esa concepción, hacia esa imagen es que se trata de hacer igual, por medio de la medida el observable físico.

En esto radica la experiencia en Física, en medir, en establecer - la cuantificación y en encuadrarla dentro de la propia teoría, con la cuantificación, se generan nuevas ideas y nuevas relaciones proposicionales.

El aquí y el ahora del sujeto que observa físicamente, se manifiesta en la incorporación de la observación física (de las mediciones) hacia su sistema de creencias. Esto constituye la experiencia en física.

La unicidad de la medida, está garantizada en su forma operativa - y en el instrumento de medida, nadie puede poner en juicio los datos, puesto que son sólo eso, cantidades, no proposiciones. Pero son cantidades que no son obtenidas con una acción innata simple, sino sólo mediante una compleja elaboración por parte del sujeto.

Ahora bien, esta característica del dato obtenido y su inalterabilidad, es lo que por no razonar hacia el interior de la acción de medir, se confunde con la objetividad de la ciencia, en pocas palabras se confunde con la realidad misma. Pero como se advierte de lo expuesto, ni la medición, ni la experiencia física son la realidad - que percibe el sujeto como un ente pasivo sin tener nada que ver ,

más que recibir la experiencia.

"Pero en la práctica, como puede verse en las publicaciones científicas, lo que al parecer ocurre es que el científico está luchando con los hechos, tratando de obligarlos a conformarse a una teoría que él no pone en duda"²⁶.

CAPITULO IV

EPISTEMOLOGIA Y ENSEÑANZA DE LA FISICA

LOS CONCEPTOS FISICOS

Por lo apuntado en los capítulos anteriores, nos damos cuenta que la ciencia y específicamente en nuestro caso la Física, no es una descripción, ni mucho menos una explicación de la realidad, así como tampoco es conocimiento inalterable, puesto que ni siquiera la experiencia lo es, ésta depende de la estructura cognoscitiva en la que la experiencia se da. Lo único que en este caso podemos afirmar que es inalterable, es la medición realizada, ya que ésta, constituye el logro del esfuerzo cognoscitivo para establecer la relación entre la concepción teórica y la realidad. Siempre que la medición sea efectuada bajo las mismas condiciones, ésta será la misma, aunque cambie el contexto y se incorpore a otro sistema teórico diferente del que le dió origen. Esto es lo evidente, lo que hace posible la prueba en la Física.

Es esta condición de la Física, la que la determina a ser una representación, una imagen construída de la realidad. Es claro por consiguiente, que esta representación, no aparezca de una sola vez, sino que haya tenido un desarrollo como lo muestra la Historia de la Física, en donde si bien, se han ido estableciendo en las teorías físicas elementos centrales, rectores del desarrollo, las representaciones en general, como modelos explicativos, han ido cambiando.

Sin embargo, a diferencia de los esquemas representativos de otros aspectos, fundamentalmente los referentes al hombre mismo, la formalización establecida en la Física, hace posible que las representaciones o teorías sean del consenso de toda la comunidad científica de la época, es la imagen física del mundo con que toda una época ve a través de ella la realidad que le es propia. Por ello, - es justificada la confianza en la ciencia como generadora de conocimiento confiable. Por ello también, se ha pensado en la ciencia como objetiva, intemporal, lo cual ya no resulta del todo justificable.

Lo que en realidad se ha ido estableciendo en la ciencia, es esa forma de pensar, es ese formalismo que lleva al establecimiento - de la Teoría Física, formalismo que se ha ido depurando en las concepciones físicas y a la vez se ha fortalecido con otras nuevas, haciendo nuevas creencias que proporcionan a la comunidad científica de la época, su total aquí y ahora, desde el cual comprenden su representación, esto es, ven el mundo.

Efectivamente, la teoría proporciona las creencias fundamentales que hacen inteligible la realidad desde su perspectiva, desde su interior, es decir, ofrecen una visión interior, intra-teórica.

Dentro de esta representación, la experiencia se incorpora al sujeto y a la Teoría Física, esto es, la experiencia se estructura. No es como vimos en el capítulo anterior, la experiencia algo independiente del sujeto, algo que solamente se recibe. La experiencia se conforma, sólo cuando es contemplada por el sujeto con su conjunto de creencias y su estructura cognoscitiva, de ahí que una experiencia pueda tomar tan diversos significados.

En la ciencia, como también se ha apuntado, la estructura cognoscitiva y el conjunto de creencias, están determinadas por la teoría científica, esto hace que toda la experiencia que se realice en la ciencia, tenga un esquema referencial desde el cual se contempla y por consiguiente al que se integra. Esta integración viene dada por la < forma de pensar > de cada ciencia.

Así, en la Física, para que la experiencia sea integrada y aceptada como una experiencia científica, tiene que cubrir varios requisitos, a saber, que la experiencia sea operacionalizada en un proceso de medición, que sea realizada bajo condiciones controladas y por consiguiente reproducibles, que la medición sea realizada con la precisión requerida para que pueda considerarse como elemento confiable para el juicio que en la proposición con ella establecida, comprueba la esperanza teórica.

Como podremos darnos cuenta, la parte activa, la acción del sujeto en la experiencia en Física va más allá de la incorporación de la sensación con sus creencias y formas de pensar, en la Física, se tiene que actuar, se tiene que medir y que controlar la interrelación entre los observables físicos y el sujeto. Ahora bien, esto no implica que dicho control no sea establecido por el mismo conjunto de concepciones teóricas. Ni la medición como tal (expuesta en el capítulo anterior) ni el control de los observables físicos, es ajeno a la teoría, de hecho como se ha visto, para la medición se tiene que establecer una relación dentro de la concepción teórica particular para poder descartar los observables físicos que deben ser aislados, controlados. Por último, la precisión de la medición (su grado de simulación del continuo), también es una exigencia de la teoría puesto que ésta contempla a los procesos como continuos.

Todo lo anterior, lleva a la necesidad de que la experiencia es-
 tructurada; incorporada a la teoría, tenga una representación en
 ella. Efectivamente, no basta con la cuantificación, ésta tiene
 que hacerse corresponder con una entidad física que está relacio-
 nada funcionalmente con otras entidades físicas, por consiguiente,
 la experiencia tendrá una representación en una entidad física -
 particular, con un símbolo que la represente y que forma parte di-
 recta o en forma dependiente de las concepciones fundamentales de
 la Física, esto es, de las creencias, axiomas de la Física y de -
 su manera de estructuración.

Queda por aclarar, la significación de la creencia en Física.
 Se ha establecido en muchas concepciones filosóficas, la duda, co-
 mo elemento necesario para el conocimiento, pero para poder dudar,
 se debe antes creer en algo, como dice Ortega y Gasset: "... cuan-
 do dudo de algo, no es que no crea nada de ese algo, al contrario,
 creo indubitadamente que es dudoso"¹. Pero no acaba con ello la
 duda, ésta se presenta porque hay otra idea susceptible de conver-
 tirse también en creencia, de sustituir a la otra, pero ocurre tam-
 bién que la primera creencia sobre la que se duda, es susceptible
 de duda no por sí misma, sino porque se ha presentado una nueva, -
 que no es necesariamente la que será aceptada como la creencia sus-
 tituyente.

Por otro lado, la creencia es un producto del pertenecer a una co-
 munidad. Sí, en la comunidad científica, se es partícipe de las
 creencias de las ciencias particulares. Así, en la Física hay -

¹ Ortega y Gasset, J. Investigaciones psicológicas. Pág. 137

creencias tanto en los constituyentes conceptuales de la misma como en la estructura, en la lógica que se emplea en la construcción del conocimiento. Por consiguiente, cada parte de la Física tiene su propio conjunto de creencias con las que el físico contempla, experimenta y construye su imagen física del mundo.

Ahora bien, para la modificación de la teoría es necesario como hemos apuntado dudarla, es por consiguiente y siguiendo a Ortega que la teoría es en sí misma dudosa, de aquí la imperiosa necesidad de ser probada, de que sea experimentada y contrastada con la realidad. De aquí se sigue, que tuvo que haberse tenido la evidencia de otra creencia o de otras circunstancias que pusieran en duda a la primera, éste es el papel clave de la experiencia. Por consiguiente, la posición de Armstrong, quien sostiene que la evidencia es la adquisición innata de la creencia, es falsa, puesto que la evidencia lo único que nos permite es ponerla en duda. Con ello se explica el hecho sorprendente de que no hay en las personas cambio en sus creencias (ni en los sistemas teóricos) ante las evidencias que parecen contradecirlas, sino hasta que se haya reconocido en ella, que pone en duda lo que cree.

Por ello no basta la experiencia repetida, es necesario imperiosamente que sea reconocida potencialmente como una fuente de nuevas creencias. Posteriormente veremos que ésto determina el esfuerzo cognoscitivo que formará mediante un juicio el concepto, que será la nueva creencia.

Es por ello que la creencia es necesaria, puesto que constituye el soporte general de cualquier concepción, de toda teoría y es por consiguiente que también la teoría necesita axiomas, postulados y

definiciones (como hemos repetido varias veces, tanto a nivel de los entes físicos como de la estructura de pensamiento) esto es, necesita creencias. Establece un marco desde el cual contemplar su mundo, pero en el caso de la ciencia un marco que pueda ser - puesto a prueba.

Este conjunto de creencias, este marco desde el cual se representa lo real, se dá sólo en el sujeto, en este caso, el sujeto que pertenece a la comunidad científica, por consiguiente es un conjunto cuyo pleno significado es individual. El sujeto no puede nunca - aislarse ni siquiera de la teoría científica como muchos han propuesto. Es una teoría en el sujeto, con las individualidades de éste y con lo que esa misma individualidad puede poner en común, a través claro está, de un acuerdo en la simbología y las formas estructurales y operatorias de la misma con los demás sujetos. Así, cada sujeto está en posición de aportar a la teoría a los dos niveles de ésta, es decir, conceptual y estructuralmente.

Hemos visto, que la creencia constituye el soporte desde el cual la experiencia se genera y se incorpora a la teoría, bien en el sentido de una confirmación o bien proporcionando elementos para la duda. Pero con ello, no se resuelve el problema de la construcción de conocimiento, el de poder generar nuevos y más completos sistemas representativos del mundo físico. Veamos primero las características generales.

La experiencia, por el hecho de ser intra-teórica, tiene la posibilidad de poner en duda elementos de la misma teoría desde la que es contemplada, podríamos incluso decir que en general toda experiencia científica o no, tiene ésta posibilidad, incluso si dicha

experiencia viene dada como la comunicación con otro planteamiento particular de algún hecho, objeto o idea. Por ejemplo, el análisis de un fenómeno hecho con otra concepción. Así pues, la creencia puede convertirse en duda, pero esta duda no es hacia la nada, es establecida porque esa misma experiencia ofrece un elemento de juicio, bajo el cual, se encuentra una alternativa contra la cual se trata de establecer similitud entre la experiencia y la creencia. Pero este hecho implica que al sujeto se le presenta un problema, y tiene que generar los mecanismos que le permitan darle una solución, donde esa solución, será dada cuando el sujeto cuente nuevamente con una creencia, no puede estar en incertidumbre. En el caso común, y más simple, ésta solución, viene dada por la simple aceptación de una nueva creencia, la vida cotidiana ofrece muchos casos de este tipo, en donde las creencias son reemplazadas unas por otras por el simple hecho de pertenecer o ser introducidas por la comunidad. Otro caso está en la observación cotidiana de un suceso. "La mayoría de nuestras creencias, como ya hemos indicado, reposan en la aceptación tácita de actitudes corrientes o en nuestras propias suposiciones irreflexivas"². En este caso, no podemos hablar en realidad, de que el hecho presentado para la dubitación de la creencia, sea un problema que exija una acción del sujeto.

Esta acción sólo se dará, cuando no hay otra creencia que pueda de inmediato, reemplazar a la creencia dubitada. En este caso, la experiencia, de hecho no presenta la solución, sólo presenta los -

² Cohen M. y Nagel E. Introducción a la lógica y el método científico.
Vol. II pág. 8

elementos que hacen posible la duda. Esto exige del sujeto, un esfuerzo cognoscitivo que tiene que establecer, elaborar un pensamiento que haga posible, el tomar de otro conjunto de experiencias y creencias y establecer un juicio con ellas para poder encontrar la nueva creencia que resolverá la duda, esto es, tendrá que generar ideas.

Nuevamente aquí encontramos un primer caso, el caso simple en el cual, la inferencia se da por analogía. Entre la creencia dubidada, la experiencia que lo provoca y otra creencia, se establecerán las inferencias analógicas que decidan la creencia a aceptar por dar una mejor representación dentro de toda la estructura cognoscitiva y de creencias del sujeto. En un segundo caso, la exigencia es el poder establecer inferencias deductivas, esto es, un mayor rigor para creer en la nueva concepción, esto es - una corroboración formal.

Así, mientras en el caso cotidiano basta con la analogía para re solver problemas y la idea consiste precisamente en este establecimiento, en la Física, se exige que al tratar de resolver la duda, se realice dentro de un formalismo que dé validez a la idea, esto es, que pueda ser probada; probada como una idea que ha sido estructurada deductivamente, lo que nos lleva a probar la validez de la deducción. Pero además, será necesario otro paso, siendo éste el de establecer la concordancia con la experiencia que gene ró la duda en la creencia y en otras que serán establecidas a pos teriori. Debe exigirse que la nueva idea, el nuevo conocimiento contenga todo lo necesario para poder ser incorporado a la teoría que lo soporta.

Ahora bien, estas ideas conformarán los conceptos, las definiciones, los postulados, etc. . Todos los elementos conceptuales y de representación que pertenecen a la Teoría Física.

Al hablar de conceptos, nos referimos al terminus conceptus, de Ockham, en el sentido de ser una entidad mental que limita, que acota para dar un significado preciso, que no puede tener otra acepción. "La palabra con que Aristóteles expresa la idea de concepto es << lo acotado >> . Horos es lo que en el paisaje aparece erguido, lo que se eleva. Su correspondiente en latín es terminus... término es por tanto, el pensamiento, en cuanto acotado por nuestra mente; es decir, el pensamiento que se pone a sí mismo, que se precisa"³ . Pero este precisar, viene de la abstracción que a partir de una acción se toma, de ahí que en la representación simbólica de la Física, todo concepto expresa una relación funcional (una relación de correspondencia por medio de la acción) con diversos observables físicos. Por su parte, las definiciones también cumplen éste carácter de comunicación, sólo que aquí la representación es mediante una tautología que establece alguna correspondencia operativa sobre los observables físicos, y que tiene en sí misma un carácter de acción y por consiguiente también tiene una representación funcional. Finalmente en los postulados y los axiomas es en donde se fundamenta (en base al esquema de creencias propuesto) el sistema teórico.

Los postulados tienen un carácter limitativo, estático, pensemos por ejemplo, en los postulados de Bohr y de Einstein. Pero ade

³ Ortega y Gasset. La idea de principio en Leibniz. Vol. I Pág. 84

más, estos elementos conceptuales por su misma naturaleza, no pueden hacerse evidentes con la sola experiencia sino a través del - análisis deductivo. Por esto, no pueden referirse directamente a la realidad, no pueden ser probados, sino que son ideas establecidas como una necesidad lógica, para poder evidenciar e interpretar bajo este esquema posteriores experiencias, que sin ellos, serían insostenibles dentro del formalismo físico.

Con todo lo anterior, la imagen de la explicación científica, tiene otro carácter. Ya no se puede sostener la vieja idea de que "La generalización, es la naturaleza misma de la explicación"⁴. Tampoco es el simple establecimiento de relaciones causales, que bien define Popper. "Por explicación causal de un acontecimiento se quiere decir, deducir un enunciado que lo describe a partir de las siguientes premisas deductivas; un mínimo de leyes universales y ciertos enunciados singulares - las condiciones iniciales"⁵.

La explicación científica, se da con todo el conjunto de la acción científica, esto es, con la representación que bajo el marco teórico, con su formalismo que lo acredita, ofrece de la realidad. Así, una explicación que es considerada falsa, en un tiempo no lo fue, tenía otro esquema que la justificaba, pero por otro lado garantiza que otros elementos teóricos, bajo la prueba repetida y - por la creencia no dudada, se conserven vigentes, y por consiguiente, que se establezca confianza en el esfuerzo cognoscitivo de la ciencia.

⁴ Reichenbach, H. La filosofía científica. pág. 16

⁵ Popper, K. R. La lógica de la investigación científica. Pág. 57

Podríamos decir con C. V. Weizsäcker: "La ruptura de la relación yo - mundo - quienes precisamente en mutua interacción adquieren categoría ontológica - operada por la imagen física en el enfrentamiento esquemático sujeto-objeto es, en el fondo una recreación de la realidad. Pero mientras tal enfrentamiento - ocurre habitualmente con el olvido y al margen de experiencias, podría decirse que la física moderna logra lo suyo mediante un acto de violencia. El experimento, que nos muestra el estado de lo real que el mismo ha engendrado, es una impresionante manifestación de espíritu, quien únicamente conoce en tanto crea"⁶.

A manera de síntesis, tendremos que:

"La historia del pensamiento científico evidencia que las realidades experimentales y las estructuras lógico-matemáticas se elaboran unas en función de las otras, y estas acciones físicas especializadas se adelantan tanto más en lo real, cuanto más activamente estén estructuradas sus coordinaciones lógico-matemáticas por el sujeto, logrando desprenderlas de lo concreto, ya que por ser una acción, ésta entraña una lógica que como vimos depende del sujeto y no radica en los objetos a los que se aplica, se estructura en el sujeto y se apoya en sus principios"⁷.

La contemplación de la realidad desde la perspectiva personal, - como sujeto que conoce, se dá a partir de los principios (creencias en general), esto implica la asimilación del objeto de cono

⁶ Weizsäcker, K.V. La imagen física del mundo. Pág. 45

⁷ Pérez, S. J. L.; Gallejos, C. L.; Flores, C. F. Epistemología, psicopedagogía y conceptos físicos. Pág. 25

cimiento manifestado en la sensación (aunque ésta vaya a ser inferida en un arreglo experimental), por el sujeto cognoscente. Esto es el establecer una forma en la que se encuentran elementos del objeto y las estructuras cognoscitivas del sujeto; integrando así el objeto de conocimiento y sus relaciones con otros elementos conceptuales, pertenecientes a las concepciones del sujeto en la teoría en la que se está inmerso.

Así, el conocimiento físico se logra cuando en la experiencia física del sujeto cognoscente están claramente establecidos los elementos lógicos de deducción que están apoyados a su vez en sus creencias. Estas creencias son las que bajo su aporte interpretativo permitirán constatar la percepción que del objeto de conocimiento se tiene, esto es, del observable físico con la realidad de ese objeto.

Es en esta relación que se establece la medida, que se concibe la experiencia en Física. Pero como hemos visto, esta relación es mucho más compleja de lo comúnmente concebido. La propiedad a medir, la característica de la realidad que se pretende medir, hacer igual con el modelo generado, sólo es posible por la formalización que como observador físico se tiene, logrando separar y reagrupar los factores que en esa relación sujeto-objeto son dadas por el propio formalismo.

No hay que perder de vista que todo esto hace a la teoría un sistema completo, cerrado, que aporta sus creencias bajo las cuales contemplar la realidad que quiere conocer, que aporta la forma bajo las cuales se generaran los mecanismos de interacción entre el intelecto y lo real y que aporta también el formalismo (lógico-matemático).

co) que permite la interrelación conceptual de ideas y observables para formar juicios sobre su validez de estructuración y de similitud con la naturaleza que pretende conocer.

Todo lo anterior está presente en todo conocimiento físico, así, como en toda experiencia física. El hacer Física representa por tanto para el sujeto, el contar con una forma de pensamiento en la que esté establecida una estructura cognoscitiva acorde a las exigencias que marca la Teoría Física y un actuar de acuerdo a dicha teoría.

Como Heisenberg dice: "El objeto de la investigación científica no es ya la naturaleza en sí, sino la naturaleza sometida a la investigación del hombre, a su interrogante. Las leyes matemáticas que formulamos en la teoría cuántica, no tratan de las partículas elementales en sí, sino de nuestro conocimiento de las partículas elementales. Dicho de otra forma, delante de nosotros no tenemos un objeto, sino siempre una estructura compleja e inseparable de sus dos componentes elementales: observador y objeto. La Física sólo puede ambicionar el darnos una imagen del mundo cuyos datos no sean los objetos sino el drama objeto-observador"⁶.

ELEMENTOS QUE APORTA PARA LA ENSEÑANZA EL ESTUDIO EPISTEMOLOGICO

Generalmente, cuando se proponen modelos o mejor dicho alternativas educativas para alguna disciplina como la Física, las Matemáticas, la Filosofía, etc. se toman en cuenta varios aspectos, den

⁶ Heisenberg, W. La imagen de la naturaleza en la física actual. Pág. 18

tro de los cuales los más importantes son el contar con una teoría global de aprendizaje, una psicología que la soporte y una concepción de educación. Además, dentro de la parte correspondiente a la didáctica se contemplan el tipo de actividades y formas educativas a diseñar que de acuerdo a las concepciones establecidas se adecuen al tipo de conocimiento de la disciplina en la que se pretenda educar.

Así, se le dará relevancia a los aspectos prácticos o a los operativos mentales como ocurre generalmente en la enseñanza de la Física y las Matemáticas. Estos aspectos, se combinan con otros múltiples factores con los que se generarán los programas educativos y las correspondientes formas educativas.

Pero este proceder, aunque congruente con su planteamiento y que considera el tipo de acciones que requiere una disciplina específica, deja de lado el proceso de construcción de conocimiento de la disciplina misma, esto es, de su epistemología y por ende de la estructura y exigencias que en dicha disciplina se plantean. Esto, lleva a vez por ejemplo en el caso de la Física, a esta ciencia como una disciplina de las llamadas teórico-prácticas, en donde deben combinarse técnicas experimentales, conceptos, así como un operacionalismo matemático, expresado generalmente en un problema que debe ser resuelto a través de un formulario y operaciones matemáticas. Por extraño que parezca ésta concepción de la Física es la que predomina en el ámbito educativo y de acuerdo a ella se plantean los sistemas educativos y se educa.

Cierto que a veces se ha centrado en la parte operativa (como una consecuencia de todas las corrientes conductivistas), otras veces sobre la parte experimental (como en las corrientes de tipo empí-

rista) y otras sobre los aspectos conceptuales y estructurales - (en las corrientes cognoscitivistas, como en Ausubel). Pero finalmente, una combinación en distintas proporciones, es la que conforma la educación de la Física.

Ahora bien, este punto de vista es muy parcial y peligroso. Es - parcial, porque sólo contempla elementos de la Teoría Física, sin establecer claramente su relación al interior lo que da una visión deformada de los mismos, no da una imagen de la Física.

Por el otro lado, es peligrosa, porque esa imagen, esa concepción deformada de la estructura y de la propia Teoría Física, así como de los elementos conceptuales que son necesarios para abordarla, implica el riesgo de desarrollar una forma educativa también deformante y que por consiguiente no cumplirá totalmente su finalidad de educar en esa disciplina, será una educación incompleta, defectuosa desde su origen.

No es pues de extrañar que tanto la Física como las Matemáticas - presenten tantos problemas en la educación actual. La mayoría de los estudiantes a todos los niveles rechazan ambas disciplinas. Y es que en cierta forma sí les son inabordables.

Las prácticas educativas, centradas en pedirles fé a los estudiantes en una imagen física del mundo que no es la suya, una fé que se convierte en la simple memorización de una simbología no signifi-
cante en él. Por ejemplo, ejercitar una forma operativa de solución de problemas ficticios, que sólo cobran sentido en una teoría que le es completamente ajena al estudiante. Incluso en los esquemas que se centran en la labor experimental, sólo se concibe a

ésta como la simple corroboración de predicciones, tanto en las demostraciones como en las llamadas prácticas de laboratorio, don de nuevamente por ser ajenos a la realidad de la Física, se crean esquemas que vienen a concluir en el manejo de datos y de aparatos constituyendo el quehacer del estudiante. Es evidente, que estas formas de educación no pueden lograr la finalidad pretendida. El rechazo de la mayoría de los estudiantes y los grandes índices de deserción que se presentan, son el resultado de exigir una forma de pensamiento al alumno, para la que nunca se ha ido formando. Ahora bien, estas prácticas y resultados, son causados por tener una visión externa hacia la disciplina que en este caso, por su propia cerradura (los aspectos intra-teóricos analizados en capítulos anteriores), sólo deja ver las prácticas y la presentación estructurada de los conceptos, pero no deja ver nada hacia el interior de ellos ni de su construcción. No basta efectivamente, con ejercitar una práctica y aceptar un conjunto de conceptos, postulados y definiciones, si éstos son ajenos a las propias creencias de los estudiantes, es decir, no se han cuestionado sobre ellos, simplemente se aceptan, pero con una aceptación incrédula, deformante y claro está que no es parte de su representación del mundo.

El analizar el desarrollo de una ciencia y su estructura cognoscitiva, es un requisito que debe contemplarse para poder desarrollar los modelos educativos para esa ciencia. Porque si bien, nunca se va a estar libre de las diversas posiciones epistemológicas alrededor de esa ciencia, el análisis aporta una mejor concepción en los elementos importantes acerca del pensamiento que se requieren para abordar la ciencia. Los elementos de pensamiento y estructurales que proporciona la epistemología de la Física en nuestro ca-

so, son los elementos que servirán como directrices del proceso educativo en Física. Sólo con ello puede pretenderse la educación en Física, puesto que se buscará no sólo el aprendizaje de conceptos, técnicas y operaciones que siempre corren el riesgo de ser ajenos, de no cobrar significado en el sujeto, sino el poder estructurar, formar en el sujeto esos elementos que le permitan realmente abordar el formalismo de la Física.

El pequeño análisis realizado en los capítulos precedentes acerca del desarrollo y de la epistemología de la Física, aporta los siguientes elementos que deben ser contemplados en la educación en esta ciencia:

El primer aspecto que nos marca la epistemología desarrollada, es que no puede abordarse de lleno a la Física, porque constituye un esquema teórico de tal estructura, que hace intra-teóricas sus acciones y conceptualizaciones. De hecho, el presentar la Teoría Física en su formalismo estructurante, sólo deja ver el carácter operativo de su lenguaje. Pero el manejo operativo de éste, estrictamente hablando metalenguaje, queda sin significado puesto que no se estructura él mismo, desde los elementos axiomáticos y postulares de la propia teoría. Esto, no puede dejar en el sujeto más que un operativismo simbólico que sirve para poder seguir las secuencias matemáticas implicadas en los procesos físicos, pero no a los mismos procesos. En la práctica común de la educación en Física, podríamos ver lo anterior con los famosos problemas de física, en donde se discute un proceso ininteligible al alumno, fuera de su realidad y que sólo cobra significado dentro de la propia teoría, pero que, sin embargo, el estudiante es capaz de resolverlo operativamente, es decir, puede empleando la simbología y

los procesos elementales del álgebra, llegar a una solución, pero es una solución carente de contexto físico, pues en realidad nunca ha estado involucrado en el sujeto. De ahí, la no transferencia cognoscitiva hacia otras situaciones, que no sean problemas - de la misma forma operativa.

Lo anterior nos lleva a considerar en segundo lugar, que deben establecerse dentro del esquema conceptual del sujeto, las creencias (conceptos básicos y postulados) de la Teoría Física, para que ésta comience a cobrar sentido, comience a hacerse propia al sujeto como un marco referencial desde el cual contemplar su mundo.

Lo anterior, implica el hacer que el sujeto cambie sus creencias previas y para ello hay que hacerlas dudosas. Es por ello, que deben plantearse experiencias al sujeto, que pongan en duda sus creencias, que se presente una forma diferente de interpretación. Este punto es difícil, pues no siempre es posible el rompimiento de creencias, primero, la experiencia tiene que ser reconocida - como una evidencia contraria a la creencia, y no fácilmente adoptada desde el antiguo marco de creencias, sino por el contrario, debe de llevar al sujeto cognoscente a contradicciones inferidas silogística o analógicamente con sus creencias primeras.

En este encadenamiento de acciones, se manifiesta que el sujeto cognoscente, deba de poder establecer las inferencias formales, es decir, debe de contar con una lógica. Es éste un punto delicado, pues el establecimiento de una lógica en la estructura cognoscente del sujeto es sumamente difícil de lograr y muchas veces de identificar dentro de un proceso. Por ello, deben darse los esquemas, en la propia acción del sujeto.

Esto en buena parte estará determinado por las propias creencias puestas en duda, pues bastará, desde el simple tomar una evidencia y aceptarla como creencia en un caso de analogía, hasta el tener que someter a juicios lógicos y experimentales, para poder descartar una creencia y aceptar otra o quizá la posibilidad de una tercera. Esto es deberán generarse ideas que puedan probarse.

Lo anterior implica, que el sujeto cognoscente debe reconocerse - como un elemento activo. Así, en su propuesta de ideas y de corroboración de las mismas, debe establecer sus acciones, debe establecerse a él como elemento causal y proposicional, de tal manera que debe ir construyendo su propio formalismo acorde al de la Teoría Física, para tener así un elemento en común. El poder actuar para obtener juicios y experiencias, que sean coincidentes - con la teoría de manera que los elementos de ésta ya no presenten contradicciones a sus interpretaciones.

Otro elemento importante y que se descuida mucho en la educación en Física en todos los niveles, es el establecimiento formal de la medición, que el sujeto cognoscente reconozca en ésta, a la experiencia formalizada (es decir, descentrada) para que se incorpore a los elementos operativos de la teoría. Todo el proceso de experimentación que consiste fundamentalmente en el control de - los observables físicos que se requiere para la medición, es más que un conjunto de acciones, como hemos visto, es parte indisoluble de la interpretación física.

Esto obliga a que no sólo se muestren las llamadas < técnicas - del método experimental > y del < análisis de datos > , sino - que éstas deben cobrar sentido dentro de la propia acción del sujeto constituyéndose en parte fundamental de su quehacer, en esta

blecer sus significantes físicos, esto es, en resolver su problema, en estructurar sus creencias.

Con todo lo establecido, se irá requiriendo en el sujeto cognoscente, una estructura de pensamiento que haga posible la formalización de los conceptos y con ellos, su representación, esto es, generar dentro del metalenguaje las tautologías que hagan posibles las definiciones y el establecimiento funcional entre los observables físicos. Con ello, se está en posibilidad de estructurar formalmente. De tener una representación del mundo físico que pueda someterse a juicio, tanto en su propia estructura lógica como con la contrastación con la realidad.

Así, la Teoría Física no se presenta al sujeto cognoscente como algo externo sino como un elemento de juicio que irá cobrando significación en él a medida que él mismo va formalizando su estructura cognoscitiva desde la cual, sólo él con su circunstancia espacio-temporal y de nuevas creencias, conforme una representación de la realidad.

Como podrá observarse, estas exigencias formales que plantea la Epistemología de la Física, van más allá de la simple presentación de la misma. Se requieren elementos en la estructura cognoscitiva del sujeto que van más allá de la simple inferencia analógica que usa en su quehacer cotidiano, a saber, se requiere de un pensamiento lógico formal, que pueda por sí mismo crear ideas que puedan convertirse mediante las exigencias lógicas que la Física implica, en nuevas concepciones de la realidad.

Ahora bien, estos elementos extraídos de la Teoría Física, sólo -

son indicativos de los requerimientos formales para abordar la Física. Incluso, el propio desarrollo histórico, sólo nos presenta la estructuración de los mismos hasta llegar a ser la actual teoría o mejor dicho teorías físicas.

Sin embargo, no es suficiente para establecer alternativas educativas pues no se cuenta con algo de suma importancia, la estructuración cognoscente del sujeto. Como tampoco con las formas por las cuales esta estructuración pueda desarrollarse hacia la lógica formal.

PARTE II

CAPITULO V

PSICOPEDAGOGIA: LOS PROCESOS COGNOSCITIVOS

MODELOS COGNOSCITIVOS Y ENSEÑANZA DE LA FISICA

El contemplar en educación, la necesidad de contar con un modelo de desarrollo cognoscitivo o de aprendizaje, a diferencia de tener establecida una epistemología de la disciplina en la que se pretende educar, es un factor que la Pedagogía ha tomado en cuenta. En todas las teorías y modelos específicos de la educación, se ha contemplado tanto a nivel filosófico como en el psicológico una forma de conocer. Pero actualmente, son considerados como parte constitutiva de todas las acciones de la pedagogía, el contar con dicha concepción del conocimiento, así como con los otros factores inherentes a la circunstancia del hombre (aspectos psicológicos, sociales, filosóficos, etc.).

Sin embargo, a pesar de los reconocimientos establecidos a esos elementos, las aportaciones que han proporcionado las teorías educativas y las psicologías educativas, ciertas disciplinas siguen presentando serios problemas educativos.

Como Moore, escribe: "Al margen de esta falta de entusiasmo entre los profesores, en los últimos años ha habido también reservas en cuanto a su integridad como disciplina, (teoría de la educación) especialmente en la forma como tradicionalmente se ha entendido, - es una especie de fraude, que en realidad no existe una teoría de la educación. Lo que bajo este rótulo se alberga -dicen- no es mu

Tal vez, la problemática que se presenta, es debida a que la mayoría de los desarrollos alcanzados en la psicología educativa acerca de los procesos cognoscitivos o de aprendizaje, radique en que se ofrecen en realidad, clasificaciones de dichos procesos. Así por ejemplo, se encuentran los trabajos de Bloom, la taxonomía de Gagné-Merrill, la taxonomía de Gerlug y Sullivan, la taxonomía de De Block. En esas diversas taxonomías así como en el Modelo de Guilford, sólo se ofrece una clasificación de procesos identificados como cognoscitivos, pero que adolecen de tener especificaciones claras sobre los mismos procesos, debido a un modelo epistemológico poco consistente. Incluso en el Modelo de Guilford, en donde se pretende dar una estructura, ésta se remite a establecer una analogía entre los procesos mentales y procesos linealmente independientes como si sólo se tratase de establecer un producto cartesiano, en donde se correlacionan las operaciones con los contenidos para obtener los productos, pero en donde no se establecen relaciones funcionales, es decir, no hay una estructuración bajo la cual las relaciones se dan.

Todo lo anterior, muestra poca claridad en la propia conceptualización de los procesos cognoscitivos, muchas veces, tomando ejemplos de otras disciplinas, lo cual deforma la concepción propia al campo de la Psicología. Un ejemplo de este establecimiento de analogías, lo constituye la siguiente cita: "Las teorías de campo son una extensión del principio Gestalt, usando el término campo en el mismo sentido que el campo electrostático, electromagnético o gravitatorio usado en física o la astronomía para designar el hecho de que las fuerzas que rodean a un objeto determinan realmente sus propiedades físicas"³.

³ Mouly, G. Psicología para la enseñanza. Pág. 27

Esto como puede verse, crea de entrada el peligro de deformar los conceptos físicos, para tratar de acercarlos a otra concepción, - con lo cual, la analogía pierde validez y no se puede dar una representación coherente a las ideas así establecidas.

Por su parte, las corrientes psicológicas como la del estímulo-refuerzo, en todas sus formas, tampoco ofrece una alternativa sobre la cual centrar la educación de la ciencia. En primer lugar, más que una teoría de desarrollo o en su caso de adquisición y generación de conocimiento, éste punto de vista ofrece un esquema operativo, pero que no establece de hecho los procesos cognoscitivos. Por otra parte, este esquema operativo, por la naturaleza que presenta, no es compatible con la epistemología que (aún tomando las diversas concepciones) presenta la Física. La forma estructural de ésta y las características que se presentan en su conceptualización, exige para su aprendizaje el contar con el formalismo presente en la teoría física, pero aún más, para la educación exige el desarrollo de ese formalismo en el pensamiento. Aspectos ambos que el behaviorismo, no está en posibilidad de ofrecer, más - que a nivel operativo de símbolos y estructuras establecidas previamente y que deben ser aceptados como premisas.

Pero esa aceptación y esa operacionalización, no implican el establecimiento de un conocimiento, en el sentido de ser éste, constituyente del sujeto y bajo el cual representará y actuará en las - circunstancias específicas. Una forma operativa implica un que-hacer no un conocer, esto es, no hay una elaboración del sujeto - haciéndose el concepto.

Por su parte, las teorías cognoscitivistas, en general presentan también ciertos problemas. Veamos una concepción de esas "De acuerdo con las teorías cognoscitivistas, el desarrollo mental - es la adquisición de una jerarquía cada vez más compleja y abstracta de pautas interrelacionadas de significados, actitudes, motivos y destrezas (Gagné 1968). El aprendizaje nuevo, debe ser adecuado al nivel del desarrollo cognoscitivo actual del que aprende, pues el aprendizaje previo ha desarrollado estructuras cognoscitivas con base en las cuales la información que llega se relaciona con las experiencias pasadas. y mediante las cuales recibe un poderoso condicionamiento. Este proceso incluye el desarrollo de categorías perceptuales y conceptuales generales y el relegar el - insumo sensorial actual a las categorías apropiadas ya existentes sobre la base de identidades, semejanzas y diferencias"⁴. Y continúa - "... los procesos cognoscitivos incluyen, percibir, reconocer, concebir, juzgar y razonar. Estas categorías abarcan todo - el grupo de procesos en los que la información acerca del mundo se adquiere, recuerda, reordena y transforma de manera que puede ser aplicada en situaciones diferentes a aquellos en los que ocurrió el aprendizaje original (Brunner y Cols; 1956)"⁵.

Nuevamente, se establece una distinción de procesos, que no siempre están del todo claros, puesto que no se describe su relación con las estructuras cognoscitivas, incluso las estructuras cognoscitivas a las que se refieren generalmente no están precisadas.

Además, no se establece salvo en la psicología genética, cómo se

⁴ Sawre, J. M.; Telford, C. W. Psicología educacional. Pág. 286

⁵ Idem pág. 235

adquieren o generan dichas estructuras de pensamiento. Lo anterior, genera confusión de las categorías empleadas.

Así, las propuestas hacia el aspecto educativo, se remiten a seleccionar o generar material que esté de acuerdo a los niveles estructurales que se marcan, para que sean asimilados por inferencias analógicas en el sujeto.

En general, los puntos de vista cognoscitivistas marcan también un operacionalismo, pero ahora a diferencia de un sistema basado en el refuerzo a un estímulo, en la adecuación de los materiales educativos a una estructura cognoscitiva establecida en función de una lógica, bajo lo cual, es concebido el pensamiento y las acciones de él derivados. Este punto de vista fue el desarrollado por J. Piaget, que estudiaremos más adelante.

Sin embargo, el operacionalismo así generado, marca nuevamente problemas en cuanto a la conceptualización de los conceptos involucrados, principalmente en lo referente a los procesos lógicos, por lo que esa otra descripción de los procesos cognoscitivos, también tiene grandes carencias para la psicología educacional y para una teoría pedagógica. Como ejemplo de lo anterior tenemos: "De los 7 a los 8 años de edad, el niño es cada vez más capaz de realizar operaciones de primera clase. Las estructuras operacionales que le son asequibles comprenden clasificaciones, correspondencias, y también matrices y tablas de doble entrada. También son asequibles al alumno las operaciones infralógicas, establecidas aproximadamente al mismo tiempo que las operaciones lógico-matemáticas y que comprenden el espacio, la medida, el tiempo y la velocidad... Además, en el nivel del pensamiento operacional -

concreto, el niño puede llevar a cabo la reversibilidad por medio de la inversión o de la negación"⁶

Nuevamente en este caso, se observa una conceptualización deformada, en este caso de las categorías lógicas, con ellas, se dan por establecidas características de pensamiento, que no están apoyadas en acciones y un desarrollo de las mismas (en este sentido es otra especie de Taxonomía).

Lo anterior, lleva a preparar las acciones de la educación en términos de una internalización por parte del sujeto, siempre y cuando esas acciones sean adecuadas a los correspondientes niveles cognoscitivos. Esto, resulta muy abierto pues no se establecen las formas de asimilación e internalización. Un ejemplo de lo anterior lo encontramos en las propuestas de Ausubel. "En el aprendizaje por recepción, el contenido total de lo que se va a aprender se le presenta al alumno en su forma final. En la tarea del aprendizaje el alumno no tiene que hacer ningún descubrimiento independiente. Se le exige sólo que internalice o incorpore el material que se le presenta de modo que pueda recuperarlo o reproducirlo en fecha futura. En el aprendizaje por recepción significativo la tarea significativa potencial, o material, es aprehendido o hecho significativo durante el proceso de internalización"⁷. Ausubel, hace radicar una potencia en el material de aprendizaje, como si fuese algo independiente del sujeto y con características hacia el sujeto como determinante de lo que éste pueda conocer y aprender.

⁶ Wall, W. D.; Varma, V. P. Avances en psicología de la educación. Pág. 86

⁷ Ausubel, D. P. Psicología educativa. Pág. 38

En realidad, hay que reconocer si se quiere conservar esa idea, - que la potencialidad es en el sujeto, no en el material educativo.

Por otro lado, no aclara lo que significa el que algo sea significativo, puesto que escribe "La naturaleza del significado. El aprendizaje significativo comprende la adquisición de nuevos significados y a la inversa, éstos son productos del aprendizaje significativo. Esto es, el surgimiento de nuevos significados en - el alumno refleja la consumación de un proceso de aprendizaje significativo"⁸.

Ausubel, plantea así, el aprendizaje como la adquisición << sustancial >> de los materiales potencialmente significativos. Esa internalización, se da por recepción, al cumplirse las condiciones estructurales del alumno. "En el análisis anterior distinguimos, por una parte, el significado potencial inherente a los - alumnos particulares en ciertas expresiones simbólicas y en el enunciado de ciertas proposiciones y, por otra, el significado real (fenomenológico y psicológico) que es producto de un proceso de aprendizaje significativo. El significado real, de acuerdo con éste - punto de vista, surge cuando el significado potencial se convierte en un contenido cognoscitivo nuevo, diferenciado idiosincrático, - dentro de un individuo en particular, a resultas de haber sido relacionado de modo no arbitrario, sino sustantivo con las ideas pertinentes de su estructura cognoscitiva y así también haber interactuado con ellos"⁹. Lo anterior plantea como lo apunta este autor, que el alumno no necesita la interacción del sujeto con la realidad

⁸ Idem pág. 55

⁹ Idem pág. 63

(en las diferentes disciplinas) sino, simplemente basta con una exposición adecuada a cada nivel. Así, escribe "como ya no depende del contacto no abstracto con los datos empíricos al descubrir libremente nuevos conceptos y generalizaciones significativas, se ve liberado también, obviamente, de ésta misma dependencia en la tarea mucho menos rigurosa de simplemente aprender estos constructos significativos cuando se los expone de manera verbal"¹⁰.

Pero el esquema de Ausubel (que es correspondiente con la práctica común en las clases de Física a nivel Medio Superior y Superior), no es compatible con las conclusiones extraídas en el análisis epistemológico realizado. Puesto que, de hecho, no establece la formación de los procesos estructurales de pensamiento, compatibles con la concepción formalizada y de interpretación intra-teórica de la acción que implica el pensamiento físico. El aprendizaje por recepción significativa que propone Ausubel - no contempla la necesidad de que el sujeto se evidencie su esquema teórico, establezca dudas y genere ideas que las resuelvan, - esto es, no necesita tener su propia concepción y forma de contemplación de la realidad, le basta con aceptar como dice Ausubel - < los constructos significativos cuando se les expone de manera verbal > .

Dentro de las concepciones establecidas en los capítulos precedentes, acerca del pensamiento en la Física, una de las teorías psicológicas que mejor se pueden relacionar (no totalmente, al final

¹⁰ Idem pág. 240

se establecerán algunas observaciones) es la Psicología Genética, elaborada por Jean Piaget y Barber Inhelder, y lo es fundamentalmente por establecer relación entre las diversas formas de pensamiento y la lógica, en una construcción evolutiva, conformada por tres procesos, el de equilibración, el de acomodación y el de asimilación.

La psicogénesis del pensamiento de Piaget e Inhelder, proporciona elementos heurísticos para la Física, pues debido en parte a que su desarrollo fue hecho en base a las concepciones de los procesos físicos, centrados en la acción del sujeto.

No es de extrañar pues, que la construcción teórica de Piaget, haya tenido una gran aceptación en la educación de las ciencias, fundamentalmente en los niveles primarios de enseñanza (aunque generalmente con una comprensión deficiente de los procesos físicos y de la propia teoría de Piaget).

A continuación, analizaremos los aspectos más importantes de la teoría de Piaget, en relación a la epistemología de la física que ha sido planteada. Y que radica en el paso de las operaciones concretas a las formales.

TEORIA DE LA PSICOLOGIA GENETICA EN RELACION A LA ENSEÑANZA DE LA FISICA

Piaget, trató de dar formalismo a un proceso psicológico, específicamente el del pensamiento. Pero a diferencia de los psicólogos empiristas que fundamentan en la estadística sus concepciones, en el caso de Piaget, la fundamentación será establecida en la lógica

que de hecho ya plantea una estructura de pensamiento.

"Si la lógica es la codificación de las reglas de razonamiento formalmente válido, un estudio, como el emprendido por Piaget, de las estructuras del pensamiento natural, ha de beneficiarse forzosamente de la aplicación de la lógica. G. A. Miller distingue entre aplicaciones normativas y aplicaciones descriptivas de la matemática a la psicología y, dentro de éstas últimas, entre descripciones funcionales y descripciones estructurales. Lo que Piaget pretende es, como ya indicábamos más arriba, dar una descripción estructural de los mecanismos del pensamiento. En este sentido, tanto la lógica como la matemática le proporciona la posibilidad de construir un repertorio de modelos abstractos de las operaciones reales del pensamiento"¹¹. Por ello, Piaget, establece claramente que: "para determinar las relaciones entre lógica y psicología necesitamos por tanto: (1) construir una teoría psicológica de las operaciones en términos de su génesis y estructura; (2) examinar las operaciones lógicas, tratándolas como cálculos algebraicos y como todos estructurados; y (3) comparar los resultados de estos dos tipos de investigaciones"¹².

Piaget establece sus etapas de desarrollo intelectual, en relación a las posibilidades lógicas de los sujetos en su interacción con su circunstancia. De esta forma, establece cuatro etapas o períodos. El primero es el sensorio-motor (0 - 2 años, aprox.) que podría resumirse en lo siguiente: "Antes de la aparición del lenguaje el niño pequeño no puede llevar a cabo más que acciones motu

¹¹ Piaget y otros. Estudios sobre lógica y psicología. Pág. 26 - 27

¹² Idem pág. 42

ras, sin actividad de pensamiento, pero esas acciones muestran algunas de las características de la inteligencia... La inteligencia sensorio-motriz no tiene, sin embargo, carácter operatorio - en la medida en que las acciones del niño han sido todavía interiorizadas en la forma de representaciones (pensamiento).

Pero en la práctica incluso este tipo de inteligencia muestra una cierta tendencia hacia la reversibilidad, lo cual es una prueba - de la construcción de ciertos invariantes... incluso en el estudio sensorio motor se observa la tendencia dual de la inteligencia hacia la reversibilidad y hacia la conservación¹³. En este caso el invariante estará constituido por la permanencia de los objetos.

El segundo período, es el llamado pensamiento pre-operativo (2 - 7 años, aprox.) . "Hacia el año y medio o dos años aparece la < función simbólica > ; el lenguaje, el juego simbólico, la imitación diferida, y ese tipo de imitación interiorizada que da lugar a las - imágenes mentales. Como resultado de la función simbólica se hace posible la < formación de la representación > , es decir, la interiorización de las acciones en pensamientos. Se amplía considerablemente el campo en el que la inteligencia desempeña un papel. A las acciones que tienen lugar en el entorno espacial inmediato - del niño se añaden acciones pasadas a las ocurridas en otra parte, así como la división mental de los objetos y colecciones, en partes, etc... Sin embargo, el niño no puede construir inmediatamente esas operaciones: son necesarios todavía varios años de preparación y organización. De hecho, es mucho más difícil reproducir una acción correctamente en el pensamiento que llevarla a cabo en el ni

¹³ Idem pág. 41

vel de conducta¹⁴.

Los otros dos períodos de los que nos ocuparemos con mayor detalle son, el período de las operaciones concretas (7 - 11 años, - aprox.) y el período de las operaciones proposicionales, o formales (11 - 15 años aprox.). En estos períodos, se presenta una estructura compleja, puesto que se trata de describir un cambio de representación en el sujeto, estableciendo una estructuración interna desde una conformación de pensamiento en el que se establecen relaciones inferenciales por analogías particulares, a lo más en una serie secuencial, hasta una forma de pensamiento en la cual esas relaciones inferenciales toman carácter deductivo, con lo cual, se amplían de manera importante las posibilidades de estructuración simbólica y de acciones controladas e interpretadas bajo un esquema preconcebido. El estructurarse en sí mismo los esquemas de representación de forma más compleja, permite mayores posibilidades en el manejo lógico de las premisas, premisas que son construidas o inducidas del conjunto de posibilidades de operación, así como de la significación que cobra la realidad observada.

Dentro de la formación de la etapa concreta, los elementos cognoscitivos estructurales que entran en juego y que es necesario fortalecer para que toda su potencialidad se manifieste, se desprenden de lo que podría llamarse reflexión de la acción del sujeto - por él mismo, internalizando así, su interacción en la experiencia vivida, en el contacto con la realidad fenomenológica que caracteriza a todo proceso físico.

¹⁴ Idem pág. 41

De esa acción reflexiva, se desprende la posibilidad (establecida por la inferencia analógica) a que otra acción de la misma naturaleza o mejor dicho del mismo comportamiento observable, sea establecido como juicio para la explicación de situaciones reales parecidas. Piaget, lo expresa así: "El pensamiento operatorio - concreto comparado preoperatorio o intuitivo se caracteriza por - la extensión de lo real en dirección de lo virtual"¹⁵. Con ello, el pensamiento puede establecer acciones a realizar.

Ahora bien, esta posibilidad de lo virtual en relación a una posición real de equilibrio (el observable sin modificación), debe su posibilidad a la existencia de elementos en la estructura cognoscitiva del sujeto, estos elementos son los establecidos en funciones como la de clasificación, de seriación, de correspondencia y tal vez como más significativo de reversibilidad. Así, la clasificación es un elemento necesario puesto que establece una diferenciación racionalizada de los objetos y sucesos. Por su parte, el elemento de seriación expresa que en la estructura cognoscitiva se tiene la posibilidad de establecer inferencias recurrentes, lo que permite aproximarse a la noción de causalidad y de simultaneidad, necesaria para la descripción e interpretación de los sistemas físicos. El elemento de reversibilidad es muy importante - puesto que implica una posición en la que es posible el reconocimiento del sentido del cambio, en relación a un estado de equilibrio y de invarianza.

La implicación que este bagaje estructural tiene, consiste en ofre

¹⁵ Piaget, J. Inhelder, B. De la lógica del niño a la lógica del adolescente. Pág. 24

cer amplias perspectivas para una aproximación sucesiva de perfeccionamiento de las formas de interpretación de la realidad física. Este perfeccionamiento se da cuando están involucradas las operaciones lógicas fundamentales con lo que las posibilidades de acción del sujeto le permitirán elaborar un modelo explicativo, aun que sea a un nivel muy intuitivo, no simbolizado ni formalizado, es decir, poco significativo para la percepción de una realidad - en una circunstancia presente. El hecho de que sea poco significativo, implica que una situación física dada, a la que el sujeto a adjudicado un esquema cognoscitivo, no necesariamente es transferible a otra situación física con características estructurales similares y además, está presente el hecho de no establecer incompatibilidad entre explicaciones completamente diferentes para una situación física similar.

Piaget, explica toda esta elaboración cognoscitiva en términos de una equilibración sucesiva, continuada de la asimilación y la acomodación de las estructuras y derivadas de la acción del sujeto - sobre lo real.

Piaget escribe: "En el pensamiento concreto el sistema de las regulaciones, hasta el momento sin estabilidad, logra una primera forma de equilibrio al alcanzar el nivel de reversibilidad completa, las operaciones concretas provenientes de que las regulaciones anteriores se coordinan, en efecto, en estructuras definidas (clasificaciones, seriaciones, correspondencia, etc...) que se conservarán durante toda la vida, que no excluirán la formación de sistemas superiores pero que siguen siendo activas en el plano limitado de la organización de los datos inmediatos"¹⁶.

¹⁶ Idem pág. 13

El esquema genético que plantea Piaget, se basa en la asimilación y la acomodación para establecer con ello un equilibrio o estado de equilibración (que como él lo describe, es similar al principio de D'Alembert, en Física). Así, a través de una secuencia de estados de equilibrio y desequilibrio, es que se va estructurando cada vez más el pensamiento del sujeto, tendiendo hacia el pensamiento formal que implica el poder establecer conocimientos probados. En cada acción del sujeto sobre o en su circunstancia, tienen lugar el proceso de asimilación o de internalización, que debe ser ordenado o < acomodado > dentro de la estructura cognoscitiva del sujeto. Esta acomodación, lleva a dos posibles acciones de acomodación, uno consiste en que lo asimilado, encaja dentro de la estructura ya formada del sujeto, por lo que será una simple aceptación y la otra, en operar una mayor estructuración, un avance en la estructura cognoscitiva del sujeto, que permita la acomodación, tendiendo siempre hacia un pensamiento más riguroso.

Desde el punto de vista de su forma, las operaciones concretas - consisten en efecto, en una estructuración directa de los datos - actuales, esto es, el clasificar, seriar, establecer correspondencias, operación de reversibilidad, etc. Esto equivale a la introducción dentro de un contenido o proceso en particular, de un conjunto de relaciones en función de las operaciones lógicas, por ejemplo, la reflexión, la transitividad, la igualdad, etc., con la que se puede organizar el contenido o el proceso en forma representativa y descriptiva. Según Piaget, lo posible se transforma en una simple prolongación virtual de las acciones u operaciones aplicadas al proceso dado.

Sin embargo, hay que aclarar que no siempre se logra la integración estructural completa que describe al estado operatorio concreto, aplicado a algún proceso físico. No es generalizable que el sujeto opere así su pensamiento ante otra experiencia que pueda ser analizada con la misma forma estructural.

Esto establece dos puntos relevantes:

- a) No hay relación por parte del sujeto, ante diversas variables de un sistema físico.
- b) Se requiere una gran diversidad de experiencias correspondientes a una situación física, para poder establecer el nivel operatorio concreto como estructurado completamente.

Veamos ahora lo que conforma el estado formal de pensamiento. Diremos que una estructura de pensamiento es formal, cuando puede dar < forma > a un evento de la realidad, esto es, sea posible establecer una relación que describa un cómo y un por qué, interrelacionados por medio de las categorías de una lógica proposicional, lo cual se traduce en poder manipular los eventos y sus casos físicos, como proposiciones con valor lógico, para poder así, aplicar operaciones que determinen unívocamente las relaciones entre las proposiciones y su forma de acción, para llegar en un pensamiento formal avanzado, al establecimiento de modelos o teorías con posibilidades de explicaciones causales y por ende predictivas y experimentales.

Al respecto, Piaget expresa lo siguiente: "... por último, con el pensamiento formal se opera una inversión de sentido entre lo real y lo posible. Lo posible en vez de manifestarse simplemente bajo la forma de una prolongación de lo real: a partir de enton-

ces se concibe a los hechos como el sector de las realizaciones - efectivas en el interior de un universo de transformaciones posibles ya que sólo se les explica e incluso sólo se les admite como hechos después de una verificación que se refiere al conjunto de las hipótesis posibles compatibles con las situaciones dadas¹⁷.

Como puede apreciarse, el pensamiento formal se caracteriza por un perfeccionamiento de la forma de la estructura comoscitiva del su jeto, es decir, éste contará con una forma de pensamiento más estructurado, más integrado dentro de la lógica proposicional, lo que le permitirá construirse una visión interrelacionada y explicada - de la realidad percibida. Es por ello que las operaciones de cla sificación, seriación, invariancia, correspondencia y reversibili dad que antes se aplicaban sólo en algunas situaciones serán ahora operacionalizados en todo proceso, en una especie de generalización operativa.

Esta estructuración lógica de los eventos percibidos, permite al - sujeto contar con una completa lógica proposicional con la cual, - se pueda establecer inferencias deductivas, es decir, a priori, de las posibilidades de realización que en una situación o sistema pueden darse en un momento dado. Es por ello, que aquí aparezca como elemento central la < hipótesis > expresando toda su potenciali dad. Pues esa construcción mental contempla a todos los elementos y los interrelaciona bajo la formalización lógica-simbólica, para poder emitir un juicio.

Ahora bien, en este juicio se ha establecido previamente a partir de las posibilidades del pensamiento formal, una discriminación de

¹⁷ Idem pág. 215

las posibilidades de acción, así como una dirección para las mismas, esto es, de alguna manera se ha elegido dentro del conjunto de posibilidades que el pensamiento es capaz de elaborar.

Pero para que esto se lleve a cabo y pueda establecerse un modelo que explique la realidad, es necesario que se perfeccionen y amplíen las operaciones lógicas que darán forma a la estructura cognoscitiva que será característica del pensamiento formal. Son principalmente tres aspectos los que tienen que darse, y, aunque han estado presentes en el desarrollo cognoscitivo de los sujetos, no cobrarán su total dimensión hasta que se establecen de tal manera que operen en el pensamiento formal.

Esto es:

- a) El desarrollar totalmente la lógica proposicional;
- b) El tener un sistema de representación simbólico, referido a la realidad física; y
- c) La completa significación de causalidad.

Analizando cada uno de estos aspectos, se puede establecer lo siguiente: a) Como hemos visto, el completar la lógica proposicional para que forme parte de la estructura cognoscitiva del sujeto, implica que el conjunto de operaciones lógicas, que son características del período del pensamiento concreto, se interioricen en el sentido en que pueda establecerse una transferencia de la estructura (descripción y explicación) de un evento a otro, que por su naturaleza perceptual y de acción, el sujeto puede conceptualizar bajo el mismo esquema. Ahora bien, la manifestación de esta forma de pensamiento se da en la experimentación que el sujeto realiza. "La lógica de las proposiciones se manifiesta bajo su forma

más característica en presencia de dispositivos experimentales"¹⁸.

b) Por otra parte, hay que reconocer que no basta con la incorporación en la estructura cognoscitiva del sujeto, el que pueda operacionalizar una serie de relaciones lógicas puesto que con ello, solamente se tendría una especie de pensamiento concreto de mayor alcance operativo, que les sirve para la solución del tipo de problemas cotidianos. "Es necesario contar con una elaboración mental, que sea representativa del comportamiento que a través de su percepción el individuo es capaz de realizar"¹⁹.

Para lograr ese uso abstracto, esto es, la elaboración mental representativa, estructurada con las relaciones lógicas, es necesario que se haya establecido en la estructura de pensamiento del sujeto, el significado que un símbolo puede evocar, esto es, tener una representación simbólica, contar con la posibilidad de, por medio de un símbolo reconocer algo con todas sus propiedades. Sólo con ello, es posible la construcción de un esquema simbólico como un modelo de correspondencia con lo observable.

Piaget escribe al respecto: "... quien dice representación dice por consiguiente reunión de un significante que permite la evocación y de un significado procurado por el pensamiento... Además de las palabras, la representación reciente supone el apoyo de un sistema de significantes manejables a disposición del individuo - como tal. Ahora bien, aquí es donde interviene la hipótesis que

¹⁸ Idem pág. 215

¹⁹ Pérez S. J. L.; Gallegos C. L.; Flores C. F. Epistemología, psicopedagogía y conceptos físicos. Pág. 66

nos ha guiado: ese significado común a toda representación, nos parece estar constituido por la acomodación que se prolonga su imitación y por consiguiente, en imagen o imitaciones interiorizadas²⁰. Así, la adquisición de un simbolismo que sea representativo y evoque a la realidad, es un aspecto muy importante en la construcción del pensamiento formal que caracteriza la pauta racional del hombre. Con el símbolo es posible el silogismo y con él, el razonamiento internalizado, fuera de la situación real.

c) Finalmente, para que el pensamiento formal adquiriera todas sus características, es necesario que en el individuo, puedan establecerse relaciones causales y de proporcionalidad. Esto implica, poder establecer una secuencia lógica de eventos distantes en el tiempo, de tal manera que puedan inferirse la ocurrencia del último como consecuencia del primero en el aspecto de causalidad; la proporcionalidad por su parte, permite el establecimiento de relaciones que puedan derivarse mediante las acciones comparativas con las cuales se obtendrían los parámetros para los juicios lógicos.

Con lo anterior, se obliga al reconocimiento de un modus operandi, en los eventos que constituyen los observables de la realidad, es decir, ver bajo la perspectiva del principio de causalidad, las relaciones espacio-temporales en los eventos de la naturaleza.

La causalidad, es un elemento muy importante, porque dá sentido a la explicación, dá un por qué de las cosas, rebasando así, a nivel

²⁰ Piaget L. La formación del símbolo en el niño. Pág. 371

conceptual, la representación descriptiva. Pero además, la causalidad dá continuidad a los sucesos, es decir, permite el reconocimiento de principios, que dan unidad y secuencia a las circunstancias enmarcadas en cada situación del sujeto.

"En resumen, el punto de partida psicológico de la causalidad, no debe ser buscado en las relaciones puramente fenoménicas suministradas por la experiencia externa, ni en los datos introspectivos de una experiencia, sino en una asimilación de los datos experimentales a los esquemas de acción propia..."²¹.

"Con la incorporación de la causalidad como permanente en la estructura de conocimiento de los sujetos, se completan las características fundamentales del pensamiento formal. Con ello, se está en posibilidad de abordar como objeto de conocimiento la realidad física. Efectivamente, este estado de conocimiento, tiene la potencialidad suficiente para poder construir modelos complejos que sustentan la explicación de los fenómenos, a la vez que puedan establecerse inferencias de sucesos de acuerdo a las condiciones iniciales de un fenómeno físico, por ello, se está con el pensamiento formal capacitado para establecer teorías como sistemas explicativos del mundo físico en el total sentido de < explicación científica >"²². Explicación científica que ha sido aclarada en la primera parte.

Cabe aclarar, que por pensamiento formal, se caracteriza a una operación mental que dá forma de algo. Las características del pen-

²¹ Piaget L. Introducción a la epistemología genética: el pensamiento físico. Pág. 226 - 227.

²² Pérez S. J. L.; Gallegos C. L.; Flores C. F. Epistemología, psicopedagogía y conceptos físicos. Pág. 69

samiento formal, se agrupan según nuestro juicio en tres partes, la adquisición de una operacionalización de la lógica proposicional, conjuntamente con la elaboración de una estructura simbólica y el contar como condición secuencial a la causalidad. Estos elementos integrados en la estructura cognoscitiva del sujeto, permiten elaborar el conocimiento de la situación física a través del establecimiento de modelos o teorías que se generan en el contacto del sujeto con el objeto de conocimiento.

Ciertamente, Piaget, no fue tan ingenuo de establecer a la lógica como la forma real del pensamiento, es decir, el que las formas lógicas constituyen las formas estructurales del pensamiento. Piaget, utilizó la lógica como una representación de comportamientos observados en los sujetos y con lo cual pudo establecerse una formalización de los procesos mentales, es decir, darles una estructura. Piaget dice: "En otras palabras, nos encontramos con una serie de cuestiones que no dependen en absoluto de la lógica pura. La lógica pura nos enseña, por ejemplo, que si se admite el axioma $P \longrightarrow (p \vee q)$, de ello se sigue que se debe admitir la verdad de $(p \wedge q) \longrightarrow (p \longrightarrow q)$. Pero es realmente incapaz de informarnos sobre el problema, de saber si, en el pensamiento real de los sujetos, se encuentran operaciones de forma análoga a $(p \wedge q)$, a $(p \vee q)$ o a $(p \wedge q) \longrightarrow (p \longrightarrow q)$. La razón está en que éste es un problema de experiencia o de hecho, y no de coherencia formal. En una palabra: los mecanismos operatorios del lenguaje, del pensamiento y eventualmente del cerebro son objetos que incumben a la lingüística, a la psicología y a la neurología - en tanto que ciencias experimentales o ciencias de observación, pero no conciernen en absoluto a la lógica pura o axiomática aunque corresponden a ciertos aspectos, a estructuras operatorias utiliza

das en sus operaciones de cálculo y en su álgebra"²³.

DIRECTRICES PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

El planteamiento realizado por Piaget, en su epistemología genética, y los recursos operativos de la lógica en los que se apoyó, - así como las concepciones hacia la internalización en el sujeto a partir de sus ideas de asimilación y acomodación en el proceso de equilibrio, constituyen un excelente modelo heurístico, puesto que con ello se pueden poner en relación (al menos la posibilidad está) los procesos mentales con la construcción del conocimiento científico. Pero, a pesar de ello y de que la teoría piagetiana es en parte compatible con la formalización que se estableció para la Física según la epistemología expuesta, existen varios aspectos que discutir, y que originan varias dificultades dentro del esquema epistemológico.

La primer cuestión a considerar es la idea de génesis cognoscitiva que está presente, como una guía, en todos los aspectos de la obra de Piaget; desde su concepción misma de un proceso de equilibración por medio de una asimilación y una acomodación, que resulta ser un mecanismo descriptivo de todo proceso evolutivo o genético.

Ahora bien, esta idea de una génesis del pensamiento, lleva implícito el hecho de que todo sujeto simplemente por vivir y estar en continuo contacto con su circunstancia física (sin considerar aquí

²³ Piaget J. y otros. Investigaciones sobre lógica y psicología.
Pág. 66 - 67

todos los aspectos sociales y emotivos), tarde o temprano, alcanzará el estadio superior marcado por Piaget, como el estadio del pensamiento formal. Ello implica que la gran mayoría de los adultos, tienen y usan una estructura cognoscitiva que dadas sus características les permite, aunque estas no sean conscientes, el operacionalizar una lógica proposicional.

Por otro lado, se presenta el problema de si la génesis se detiene con un tipo de pensamiento, si así es, cómo poder explicar la generación de otro tipo de estructuras lógicas que formalmente rebasan a la lógica proposicional, como por ejemplo, la lógica transfinita, las lógicas dependientes del tiempo, o las borrosas.

Ambas cuestiones y el hecho de las innumerables observaciones de - las formas de pensamiento de la mayoría de la gente, e incluso de estudiantes de nivel de licenciatura, en las cuales se detecta que no operan con un pensamiento correspondiente a la etapa formal, - sino en todo caso con estadios inferiores y por el otro lado la generación de otras lógicas no son compatibles con una génesis natural del pensamiento.

Un segundo aspecto observacional, está dirigido hacia la lógica - misma que emplean los sujetos, que apunta, Del Val, quien escribe: " b) Los sujetos, además razonan sobre el conjunto de la situación y no sólo sobre lo que se les dá, de tal forma que a menudo introducen premisas suplementarias, c) En la medida de lo posible, los problemas se simplifican al máximo y se tiende a reducir la cantidad de información que es preciso manejar, d) En relación con lo anterior, los problemas se tienden a cerrar lo antes posible, es -

decir, un tender a limitar el número de alternativas que se deben considerar²⁴.

El tercer aspecto, es que no hay claridad sobre las formas de aproximaciones del sujeto hacia el objeto, se habla de los experimentos a contradicción²⁵ pero en realidad no existe tal experimento puesto que no es posible contradecir con una experiencia a otra, en cada experiencia se presentan siempre aspectos y situaciones distintas. Esto nos lleva al cuarto aspecto, que es sobre las bases de acción y de interpretación presentadas en la creencia, que al parecer no juega ningún papel en la epistemología de Piaget y que como hemos apuntado, no basta con presentar elementos contradictorios para que el sujeto genere otro sistema de creencias.

Sin embargo, el planteamiento de estructuras de pensamiento que van desarrollándose bajo esquemas preparatorios para una lógica formal, es muy representativo de la Epistemología de la Física, por lo que es un elemento central que apunta la psicología para el aprendizaje y desarrollo del pensamiento físico.

El aprendizaje y el desarrollo de una forma de pensamiento, no pueden ser considerados como categorías separadas, independientes; ahora bien, tampoco lo es en el fondo una concepción epistemológica de una psicología del desarrollo cognoscitivo, puesto que de serlo, toda consideración de las bases y procesos que la epistemología de una disciplina puede aportar, quedarían sin fundamento en la estructura

24 Idem pág. 37

25 Por ej. Piaget, J. Experiments in contradiction.

de pensamiento de los sujetos, como si fuese una construcción mental ajena a ellos. Por ello, es necesario el esclarecer o por lo menos reconocer qué elementos son fundamentales en la construcción de una disciplina en nuestro caso de la Física, como primer paso, puesto que ante esos elementos podrá establecerse (someter a juicio) una teoría del desarrollo cognoscitivo que sea compatible con dichos elementos y poder así, generar directrices y procedimientos hacia la educación en la disciplina correspondiente.

Así, teorías como las del estímulo-respuesta y del refuerzo de la conducta, por su carácter operativo sobre acciones más que elaboraciones cognoscitivas, quedan muy alejadas de una educación en la que su interés principal, está en la formación de una imagen física de la realidad circundante al sujeto. Por su parte, las teorías llamadas cognoscitivas, ofrecen más que un proceso cognoscitivo, una taxonomía o cuando más, una descripción de operaciones entre diversos factores, como en el caso de Guilford o de la teoría del aprendizaje verbal significativo de Ausubel, en donde no hay forma de establecer el carácter significativo en el pensamiento del sujeto.

Por su parte, la teoría de Piaget, ofrece una perspectiva que es relacionable con la epistemología desarrollada y que consiste como hemos apuntado, en que para la teoría epistemológica es importante el contar con una forma de pensamiento acorde a la formalización que exige la teoría y que fundamentalmente se basa en la lógica formal; por su parte, en la teoría piagetiana, se plantean varias etapas reconocibles precisamente por su constante acercamiento a las operaciones lógicas para culminar con la lógica proposicional en el llamado pensamiento formal por Piaget.

Este punto de coincidencia es de gran importancia, puesto que en rasgos generales, permite la conjunción de ambas perspectivas, con los inconvenientes apuntados anteriormente.

Tomando en cuenta las anteriores consideraciones, se pueden obtener los siguientes lineamientos apuntados por este breve análisis psicopedagógico.

- a) El sujeto, debe alcanzar una estructura cognoscitiva, que le permita dar explicaciones de observables físicos de manera - que puedan dichas explicaciones, someterse a diversos juicios. Por ello, dicha estructura cognoscitiva debe ser compatible - con una lógica formal, con la cual, pueda el sujeto dar forma coherente, y por tanto, contrastable a sus inferencias.

Esta disposición de una lógica formal de pensamiento que presenta la inferencia deductiva (y no simplemente analógica), se irá consiguiendo en y por el sujeto cognoscente, en la medida en que vayan formalizando en su pensamiento los procesos mentales, identificables por las diversas etapas del desarrollo cognoscitivo, con las partes de la lógica formal como son las clasificaciones, los procesos de recurrencia, etc.

Esta estructura cognoscitiva, compatible con la lógica formal, no es un proceso genético, sino que tiene que generarse en el sujeto.

- b) La generación de esa estructura de pensamiento lógico, es posible lograrla con la acción del sujeto sobre los procesos, para que en ellas se genere en relación a los problemas que - esta acción le presente, esos procesos lógicos que además en

base a muchas acciones sobre diversos problemas irá construyendo como constantes en su pensamiento.

- c) Otro aspecto de importancia, es el establecimiento en el sujeto, de todo un sistema de representación a través de una simbología, la cual pueda ser operada con la lógica de pensamiento establecida para que cobre total significación un pensamiento formal.
- d) También es un aspecto importante que se establezcan las relaciones causales como una especie de guía para la explicación. Sólo con ello es posible rebasar el nivel descriptivo de los procesos. La necesidad de establecer principios, es un aspecto más refinado de estas relaciones de causalidad. Sólo con esos elementos, será posible la comprensión y formulación de teorías formales.

El proceso psicológico de desarrollo cognoscitivo, tomado de la psicología que se basa en los procesos lógicos (partiendo de la teoría de Piaget), constituye una excelente guía establecida en los puntos anteriores, y que al igual que en la parte de epistemología ofrece directrices generales para una educación en un pensamiento formalizado, que es el pensamiento imprescindible para la ciencia.

La conjunción de las directrices extraídas de estos dos puntos, - permiten establecer las bases para generar una serie de acciones expresadas en alternativas pedagógicas para la educación en Física como se verá en el capítulo siguiente.

CAPITULO VI

CONCLUSION: DIRECTRICES PARA LA ENSEÑANZA DE LA FISICA

ELEMENTOS DEL ANALISIS DE LA EPISTEMOLOGIA DE LA FISICA, LA PSICO
PEDAGOGIA Y SU SIGNIFICACION PARA LA ENSEÑANZA.

En la Pedagogía se reconoce la necesidad de que diversas disciplinas del conocimiento, contribuyan para formar toda una serie de alternativas y formas con las cuales se buscará la educación de los sujetos, centrada principalmente en el aprendizaje. Es en la didáctica, en la que esto se operacionaliza para llevar a cabo las alternativas de aprendizaje, quedando explícitamente marcada la forma de intervención de las diversas disciplinas que la pedagogía contempla. (Como son la Filosofía, la Psicología, la Sociología y la propia disciplina en la que se quiere educar).

Así por ejemplo, en la teoría del Curriculum, para la determinación de los objetivos educacionales deben de tomarse como fuentes de análisis -según Tylor-; El estudio de los propios educandos que debe establecerse en función de determinar las diferencias entre las condiciones actuales del alumno y las características deseables y que comprende aspectos como desarrollo intelectual, necesidades físicas, sociales, etc. También debe tomarse en cuenta el <estudio de la vida contemporánea> en donde deben extraerse los elementos fundamentales del cuerpo de conocimientos actuales tomando como parámetros las situaciones actuales de vida. Por último, las <sugerencias de los especialistas> en las correspondientes disciplinas. Otro ejemplo, lo podemos tomar de la selección de las

experiencias de aprendizaje - tomando el caso de H. Taba- en donde, nuevamente se consideran aspectos como: <la naturaleza del conocimiento; > una concepción general del conocimiento; <el desarrollo del hombre > en donde está implícita la cultura y formas de vida; < el aprendizaje >, donde hay que tomar en cuenta algunas concepciones de aprendizaje y < el estudiante > sus características e intereses. Aunado a esto el contenido correspondiente de la asignatura específica. Con lo anterior se establecerán las experiencias - de aprendizaje para el curriculum elaborado.

Como puede apreciarse en los dos ejemplos anteriores. (Tylor y - Taba), la Pedagogía trata de incorporar los diversos aspectos que - puedan afectar significativamente y que de hecho están presentes - (aunque no sean reconocidos) en todo proceso educativo. Sin embargo, aunque se contempla el análisis de una epistemología, ésta se - establece siempre a nivel general. Por su parte, la disciplina o la asignatura en la que se pretende educar, es contemplada siempre como un conjunto de conocimientos elaborados y estructurados con - los cuales, debe establecerse una mutua relación o mejor dicho un - compromiso en el cual, ese conjunto de conocimientos debe arreglarse para que encuadre dentro de los lineamientos pedagógicos y de la misma forma, estos lineamientos pedagógicos serán más o menos relevantes en relación a los contenidos de la disciplina.

Muchos son los ejemplos de esta forma de relacionar e incluso de - interactuar entre especialistas de una disciplina y los pedagogos a todos los niveles de educación. Aunque a nivel profesional los - especialistas de la disciplina recurren a la Pedagogía sólo en el - sentido de encontrar formas didácticas y teorías de aprendizaje - adaptables a sus contenidos.

Ahora bien, esta práctica educativa, centrada en la acomodación de contenidos dentro de un proceso pedagógico (didáctico) no ofrece una forma congruente por medio de la cual el estudiante genere los elementos de pensamiento que requiere para la ciencia, de hecho, no están contemplados en dichas formas educativas. No es pues de extrañar que se siga recayendo en la memorización, en las metodologías operativas y en las demostraciones, sean éstas realizadas por el maestro o en un conjunto de prácticas de laboratorio.

Al fin y al cabo, se presenta un conocimiento acabado y estructurado que a lo más, requiere de la demostración, de la corroboración.

Incluso, en las adaptaciones que se han hecho de la teoría de la epistemología genética, prevalece esta situación; un conjunto de conocimientos estructurados que se presentan bajo alguna forma didáctica con mayor o menor énfasis en la participación del sujeto cognoscente, pero ahora bajo este enfoque, adecuando los contenidos a las etapas de conocimiento establecidas por Piaget.

Un ejemplo lo constituyen el trabajo de Colin F. Gauld¹ en el que se proponen esquemas de acción y de pensamiento de acuerdo a los procesos establecidos en las operaciones de Piaget (no a sus estadios), dando con ello una forma operativa de esos esquemas en relación a las diversas operaciones mentales, sin embargo, los conceptos físicos siguen siendo algo aparte y que deben ser adaptados a dichos esquemas (Action Schemes, figurative shemes, operative schemes). Otro ejemplo notable lo constituye el libro Teaching

¹ Colin F. Gauld: Physics Teaching and cognitive functioning -A neo- Piagetian Perspective.

Science Through Discovery de A.A. Carin y R.B. Sound, en donde establece todo un programa de ciencia (nivel elemental) tomando como guía a los estadios piagetianos donde nuevamente, encontramos a los contenidos científicos sin estar dentro del esquema epistemológico.

El número de ejemplos de este tipo, es muy grande y si bien pueden encontrarse algunos elementos epistemológicos, (por ejemplo, el artículo: Cultivating the capacity for formal reasoning de A.B. Arons)² éstos son muy generales y no hacia el interior de la Física, por lo que nuevamente queda sin relación la construcción de los conocimientos científicos y el aprendizaje.

Una forma de análisis que plantea otras directrices educativas en la ciencia y por tanto otras alternativas de aprendizaje, se desprende el pequeño análisis epistemológico realizado alrededor de la Física y el conocimiento. Porque si bien se encontraron directrices educativas que otros trabajos sobre todo psicopedagógicos han aportado, la fundamentación y el sentido, cobra otra dimensión o mejor dicho otra formalización.

De los elementos que aportó la parte de Epistemología de la Física se establece lo siguiente:

I) La Física constituye un esquema teórico, lo cual como ha sido apuntado, es un modelo de la realidad en el cual están implícitas muchas exigencias de pensamiento formal, así como de una acción e interpretación concordante con las formas estructurantes de dicha

² Arons, A.B.: Cultivating the capacity for formal reasoning.

teoría (lo que hemos denominado como el aspecto intrateórico del formalismo) -

Esto trae como consecuencia dos aspectos. El primero establece que no es posible abordar de entrada la Teoría Física, a menos que el sujeto cognoscente, cuente con una estructura cognoscitiva ya establecida con el formalismo que exige la Física. Efectivamente, la Física no es posible presentarla más que con toda su estructura formal si se quiere educar en ella y no simplemente ofrecer material de divulgación que sólo resultará anecdótico.

En el caso del estudiante, este no cuenta con dicha estructura o forma de pensamiento, por lo que la Física representa algo ajeno, distante cognoscitivamente. Ello ha obligado a caer en el formulario, que sólo sirve cuando se presenta un problema típico de la asignatura, pero que carece de la relación con la circunstancia física cotidiana a él. En estas condiciones, no puede hablarse de que el alumno está conociendo, ni siquiera en el aprendizaje significativo como lo propone Ausubel. La operacionalidad de símbolos, bajo mecanismos memorizados es lo que puede generarse en el estudiante de la simple presentación de la Teoría Física como ha sido apuntado.

Una solución comúnmente aceptada, para este problema, es la «simplificación de los conceptos físicos», sólo que aquí se comete un gran error. Un concepto, específicamente un *terminus conceptus*, - una representación de la caracterización del pensamiento hacia algo (generalmente la experiencia), es por consiguiente algo precisado, esto es acotado, solo tiene un significado dentro del contexto del pensamiento formal. Por ello, no puede ni añadirsele ni quitársele nada, no puede ser simplificado sin que deje de ser el concepto

al que se refiere. Esto se deduce naturalmente de la propia condición que impone la Teoría Física a sus conceptos, como se ha discutido en el capítulo correspondiente.

Ahora bien, esta exigencia que es establecida por la epistemología desarrollada, presenta un serio problema a la educación puesto que por un lado, la presentación llana de la Teoría Física es inasequible al estudiante por su condición cognoscitiva y por el otro la supuesta simplificación de dicha teoría, presenta una visión deformada de la misma.

II) En este punto, se marca la importancia de la creencia en los postulados y conceptos básicos. Efectivamente, para que el sujeto cognoscente pueda percibir, la imagen que la Física presenta, - tal como es mostrada por la teoría, es necesario que haga suyas esas creencias. Aquí, habría que agregar que la creencia se dá al nivel conceptual, esto es tanto de conceptos físicos, como en el aspecto representativo y estructural, esto es en la correspondencia entre éstos conceptos físicos y sus formas deductivas (lenguaje matemático).

Sin todo esto, no habrá posibilidad de que el sujeto pueda percibir su realidad circundante desde la Teoría Física. No es pues - de extrañar, que el común de los estudiantes tenga una visión deformada de la Física y en general de la ciencia, de hecho, tienen una representación mítica y por consiguiente profundamente ajena.

Este punto, marca otro aspecto de primordial relevancia para la educación en Física puesto que establece, que una de las acciones

básicas está en que el estudiante pueda romper con sus creencias - acerca del mundo y las relaciones en él existentes, (como ejemplo - el que siempre establecen relaciones de proporcionalidad directa - más \longrightarrow más). Hay que lograr que los sujetos cognoscentes, pue- dan evidenciarse sus creencias, con lo que se logrará el cambio a - la formalización de ellas.

III) Como ya ha sido establecido en la parte de epistemología, la Teoría Física tiene exigencias formales hacia los conceptos y los - postulados y sus formas de interrelación, por lo que para tener las creencias propias a la Física, no basta con una simple aceptación, puesto que ésta no puede darse hasta que haya sido evidenciada por el mismo sujeto cognoscente, esto es, realmente sean creencias que se incorporen y conformen su forma de pensamiento, de tal manera - que puedan encajar dentro de un esquema deductivo. Por otro lado, el sujeto no está libre de creencias previas y distintas a las que exige la Física, por ello tienen que presentarse al sujeto experien- cias. Experiencias que sólo en su reflexión sobre la acción, el sujeto podrá encontrar elementos que pongan en duda a sus anterior- res creencias.

La experiencia juega efectivamente un gran papel en la educación de la Física. Pero por su propia naturaleza que ha sido expuesta en el capítulo tercero y por finalidad que aquí se presenta para el - aprendizaje, no puede remitirse a la simple ejecución de una secuen- cia de pasos, de un procedimiento bajo el cual se establece alguna relación funcional como normalmente ocurre en los laboratorios o - las clases prácticas. En este caso, la experiencia, debe presentar un problema cognoscitivo para el estudiante, en el cual se tengan que realizar acciones e interpretaciones sobre esas acciones -

para poder tener elementos que generen ideas y dudas, pero deben ser elementos que puedan ser usados para los juicios y los procesos deductivos. Solo cuando se tengan los elementos extraídos de las percepciones y sus formalismos de las experiencias, las creencias podrán ser rechazadas, y se tendrá que buscar otras nuevas que eliminen el estado de incertidumbre. En la educación en Física las creencias comunes, cotidianas deberán ser rechazadas por los conceptos y postulados de la Física.

Con lo anterior se concluye, que la educación en Física tienen por necesidad que el estudiante experimente continuamente. La cátedra expositiva por tanto, no proporciona todos los elementos necesarios, lo haría, en el supuesto caso en que el estudiante contara con toda una formalización de su pensamiento de acuerdo a la Teoría Física. Así pues, si no está presente esta estructura cognoscitiva en el sujeto cognoscente, no podrá generarse conocimiento en dicho sujeto, - tendrá que recurrir a la memorización de conceptos y operaciones, lo cual evidentemente no conforma un pensamiento físico.

IV) Muy relacionado con el punto anterior, se encuentra el de una exigencia de la Teoría Física sobre la experiencia y es que ésta debe hacerse con la medición y con el control necesario para su realización como se ha establecido en el capítulo correspondiente. Es en la medición, donde la experiencia física es formalizada dentro de la Teoría Física, puesto que como hemos visto, se requiere de una concepción hacia el interior de la teoría de lo que se quiere medir, así como establecer el control sobre los observables físicos. Lo cual implica, el establecimiento de funcionales entre ellos. Pero además, la medición es la forma de descentración del sujeto cognoscente puesto que en esa operacionalización manifestada en la acción

y pensamiento que lleva a la medición, se obtiene un resultado invariable, esto es, no sujeto a la circunstancia del observador, sino a todo el proceso.

No es pues de extrañar, que si esto no se hace presente en la estructura de pensamiento del sujeto cognoscente, la medición no presente más que una operación trivial como se muestra en los cursos de análisis de datos y de técnicas experimentales con que se introduce en las universidades a la labor experimental.

Lo anterior hace ver la intrascendencia de las famosas demostraciones experimentales, puesto que éstas sólo presentan la percepción de un suceso, esto es nuevamente una comunicación de algo, de una percepción física en lugar de conceptos y símbolos. Pero por ello mismo, no proporciona los elementos para la construcción conceptual del sujeto. No hay acción por parte de él y por consiguiente no hay diferenciación entre los elementos que el proceso físico presenta hacia el interior de él.

v) Otro aspecto importante que marca el análisis realizado sobre la Espistemología de la Física, radica en generar una simbología (en rigor un metalenguaje) que permita la precisión necesaria para poder establecer los conceptos, postulados y definiciones de manera que puedan operacionalizarse las relaciones funcionales de los observables cuantificados e interpretados en la teoría.

Pero además, este lenguaje debe permitir dadas las exigencias de relación, las pruebas mediante la deducción formalizada. Esto implica el contar con una simbología precisa y formas de operacionalización formalmente establecidos, es a fin de cuentas contar con un for

malismo deductivo matemático en su operación. Proposicional en cuanto a una interpretación. Esto exige de la matemática más que la pura operacionalización, ese uso de herramienta que generalmente se le ha concedido. Es un lenguaje hacia el interior de la Física, - es parte de ella.

Esto, aporta hacia la educación el que no sólo debe usarse a la matemática como conjunto operativo de variables y funciones en la educación en Física, es necesario el acercar al alumno el propio formalismo matemático y su relación con el formalismo físico y encontrar en su comparación la identidad como lenguaje de representaciones -- formales. Esto implica, ver los procesos matemáticos desde su significación física.

VI Finalmente, un requisito que está implícito en todos los puntos anteriores y que permite la estructuración de todos ellos en la conformación de la Teoría Física, es que debe de realizarse todo - pensamiento bajo un esquema formal, esto es, debe contarse con un pensamiento formalizado. Así pues, la lógica, tanto a nivel simbólico (lógica-matemática), como de construcción de conceptos y de acciones experimentales, juega un papel muy importante. De hecho, la teoría científica en general, no podría establecerse con las características apuntadas en el capítulo segundo, si no se establece un formalismo deductivo que dé validez a las construcciones mentales realizadas y que además las haga compatibles, coherentes unas con otras, hasta formar toda la representación y formas de análisis que están determinando la estructura cerrada de la Teoría Física.

De aquí se concluye que para la educación en Física, es indispensable que el estudiante pueda establecerse esa forma de pensamiento -

riguroso, puesto que de no ser así, la Física le será siempre ajena, será sólo una colección de datos y descripciones acerca de un mundo ininteligible para él. Verá de la Física, un conjunto de datos interrelacionados por operaciones matemáticas, que hay que operar, pero que no tienen significación alguna, verá en la experiencia física, la corroboración de hechos predichos y no la generación de conocimiento. La Física a fin de cuentas será una disciplina en donde hay que memorizar datos y operaciones, conceptos ininteligibles y hechos sorprendentes.

Con los seis puntos tratados, puede verse el por qué la Física, representa una disciplina extraordinariamente compleja para el estudiante. De hecho, un estudiante cuyo pensamiento o estructura cognoscitiva no contenga los suficientes elementos que la lógica formal exige, estará incapacitado para comprenderla. Algunos otros estudiantes que cuentan con algunas operaciones mentales de la lógica, podrán hasta ciertos niveles usar operativamente algunos conceptos y formas matemáticas pero no habrá una conceptualización completa de la Teoría Física.

La tarea educativa consistiría entonces, en proporcionar formas educativas mediante las cuales todos los elementos apuntados se vayan constituyendo en el sujeto cognoscente.

Por todo lo expuesto, queda claro que no podemos hablar de un aprendizaje de la Física por la pura repetición de definiciones y conceptos, como tampoco por la resolución de problemas ficticios bajo patrones operativos determinados. Tampoco el recurrir a la simplificación supuesta de los conceptos de la Física, puesto que dichos << conceptos simplificados >> no pertenecen en realidad, a la Física además

¿en qué sentido debería hacerse la simplificación?, ¿qué elementos de pensamiento formal, deberían o no estar en esos « conceptos - simplificados »? Son preguntas sin respuesta desde esquemas - educativos tradicionales (conductivistas y cognoscitivistas).

Incluso, el pensar en la Historia de la Física como único recurso o incluso relacionado con los dos anteriores, no puede ofrecer - los elementos que marca la Epistemología de la Física presentada. La Historia de la Física si bien ofrece alternativas muy interesan - tes para algunos procesos físicos, no bastan para la educación, - puesto que incluso en los procesos históricos, encontramos los ele - mentos o algunos de los elementos formales de la Teoría Física. Así por ejemplo, en el trabajo de Ptolomeo sobre la refracción que se anotó en el primer capítulo, puede verse muchas de las caracte - rísticas de la Teoría Física y del proceso de pensamiento en la Fí - sica, dentro de las circunstancias experimentales predeterminadas por una concepción coherente y formulada con precisión acerca de la luz, lo que implica la utilización de muchas de las características de la teoría científica puntada. Pero esto, no quiere decir que - la Historia de la Física, no sea de utilidad para la educación, de hecho, como se anotó en el primer capítulo, la Historia de la Fisi - ca es un elemento que puede proporcionar circunstancias didácticas muy importantes.

Ahora bien, tanto lo extraído de la Epistemología de la Física como el apoyo que a ésta se le pueda dar por la historia de dicha cien - cia entorno a la educación, no pueden ofrecer más que metas neces - rias, pero no un proceso cognoscitivo. Por ello, se abordó el as - pecto psicológico del desarrollo cognoscitivo de los sujetos, de lo cual se pueden apuntar las siguientes aportaciones.

A) El primer punto, es el plantear que ciertos tipos de pensamiento observados pueden describirse en términos de una estructura cognoscitiva que está determinada por formas de pensamiento y que pueden establecerse en correspondencia directa, con los procesos lógicos correspondientes, esto es, dentro de la teoría de la lógica de clases, las correspondencias, los procesos de reversibilidad, etc., que son parte muy importante de la lógica formal; estos elementos de la lógica que nosotros hemos llamado pre-lógicos, describen procesos mentales que realizan los sujetos y que en estructura pueden hacerse isomórficos con los lógicos. Así, se encuentra en los sujetos los elementos de la lógica de clases, cuando clasifican y agrupan objetos, también se establecen elementos de reversibilidad por ejemplo, en operaciones reflexivas, o en el reconocimiento de estos elementos pre-lógicos en una descripción de procesos físicos. El conjunto, la forma de utilización de esos elementos pre-lógicos de pensamiento, determinan la estructura cognoscitiva de los sujetos. Ahora bien, para la educación en Física (esencialmente para el nivel superior) el sujeto debe de contar con toda una lógica o pensamiento formal.

B) La segunda consideración, establece que la estructura cognoscitiva de los sujetos, desde niveles inferiores caracterizados por inferencias analógicas simples, hasta los niveles estructurales superiores en donde se pueden establecer razonamientos deductivos formales, es un proceso largo y que no se da naturalmente, no es evolutivo por sí mismo, tiene que ser construido por el propio sujeto a través de un proceso educativo. Efectivamente, como se anotó en el capítulo precedente, el razonamiento formalizado o mejor dicho, el pensamiento lógico formal no está completamente establecido en la estructura cognoscitiva de la mayoría de los sujetos, aunque éstos se encuentran en la edad adulta. De hecho, con el conjunto de

creencias usuales que establece la circunstancia de vida común y razonamientos analógicos simples, se construye un tipo de pensamiento que permite al sujeto dar soluciones al común de problemas que se le plantean (problemas de tipo cognoscitivo). Ahora bien, esto no quiere decir que haya ausencia de todos los elementos pre-lógicos de pensamiento en los sujetos, sino que no están establecidos todos y no se utilizan consistentemente, no conforman una unidad coherente bajo la cual se genera y validan ideas y representaciones.

C) La generación de esas estructuras cognoscitivas en el sujeto, - sólo es posible lograrla con la acción de este. La acción del sujeto sobre los procesos es un aspecto sumamente importante, puesto que es ante la problemática planteada por un proceso físico, que establecerá las ideas acerca de su descripción como de sus relaciones causales. Ello obliga al sujeto cognoscente a ofrecer razonamientos que puedan someterse a juicio, lo cual, exige la formalización de los mismos a cualquier nivel del que se trate. Los procesos lógicos de pensamiento se irán estableciendo como constantes en su forma de pensamiento a medida que su acción sobre el fenómeno exige mayor grado de descripción, de control y de interrelación entre sus acciones y - observables físicos que en la relación se den. Si el sujeto no interviene, no podrá generar dudas que le creen un problema que sea necesario resolver, no generará ideas que tenga que comprobar y conformar dentro de sus niveles estructurales de conocimiento y de creencias.

La acción del sujeto y su grado de reflexión hacia el mismo, es lo que irá determinando paulatinamente los elementos lógicos del pensamiento formal. La acción del sujeto, es la única forma que éste tiene como sujeto cognoscente de recrear los conceptos bajo su pro-

pia interpretación y generar a la vez más elementos de juicio para ir formalizando esas interpretaciones y elaboraciones conceptuales hasta poderlas ofrecer como una visión coherente y demostrable, esto es de establecerse su conocimiento.

En la acción del sujeto sobre los procesos y sobre las formas estructurales de estas (teorías) es que se enfrenta el sujeto a su relación yo - mundo como diría C. W. Weizsäcker.

D) También se establece en la psicopedagogía expuesta, la necesidad para el sujeto, de contar con una simbología precisa para que pueda dicho sujeto cognoscente, precisar sus ideas y operarlas sin necesidad de recurrir en todo momento, a los conceptos e ideas mismas sino a su representación. Esto facilita el poder establecer un cálculo, en donde la estructuración, coherencia y validez de las operaciones es un requisito indispensable. Con ello establece, que no es suficiente para que el estudiante maneje una simbología, con simplemente mostrarla y dar las equivalencias, puesto que éstas no cobrarán significado hasta que no haya establecido el sujeto los significantes. El símbolo por ser una representación operativa, se constituye en un lenguaje; lenguaje que con una estructura cognoscitiva formal, se convierte en un lenguaje formalizado.

E). Finalmente, quedan dos aspectos que determinan la formalización de la estructura cognoscitiva de los sujetos, esto es el establecimiento de la proporcionalidad y de la causalidad.

El aspecto de la causalidad, es de gran importancia para poder expresar ideas descentradas del sujeto de manera que puedan ser analizadas por otros. Básicamente, la causalidad permite poner en relación los procesos observados a través de una necesidad lógica, como un consecuente de las permisivas, por ello, es el elemento central de la <explicación>. La causalidad es la que da la consecuencia de las descripciones observaciones que le anteceden incluso a nivel de la estructura cognoscitiva de los sujetos.

Para que el sujeto incorpore a su estructura cognoscitiva este elemento adicional al formalismo lógico de pensamiento, tiene éste que reconocerse como ser actuante y por consiguiente modificante de la situación bajo experimentación y no buscar como principio una causa ajena a él. Este punto es necesario remarcarlo, puesto que en la práctica educativa corriente, se da precisamente este enfoque del experimentador como observador pasivo, sucediéndose los procesos por alguna causa desconocida que hay que buscar. No se presenta la realidad, de que es el experimentador el que propone la situación y hace lo necesario para que se dé, sea el movimiento de un péndulo, una difracción de Bragg, etc.. Sólo en este contexto es que el sujeto cognoscente, puede reconocer su acción y la forma en la que ésta, modifica y provoca los diversos estados de los procesos. Con ésto, el sujeto podrá descentrar los elementos causales para hacerlas radicar en observables físicos o conceptos elaborados en la explicación construída.

Además, este aspecto de causalidad tiene la característica de dar coherencia y secuencia a las explicaciones dadas, esto es se pueden establecer relaciones entre diversos aspectos a través de principios y conceptos básicos que actuarán como causales fundamentales. La causalidad constituye así, uno de los elementos centra-

les en la explicación científica, y radica en la acción de los sujetos cognoscentes. Este hecho implica que el estudiante debe interactuar necesariamente con el objeto o procesos físicos, pero no como espectador, sino ante un problema al que tenga que dar explicaciones, es decir, debe encontrar relaciones causales.

El otro aspecto es el de proporcionalidad, que también constituye un elemento muy importante debido a que permite relacionar cantidades y variaciones de éstas; por consiguiente, puede establecerse entre diversas formas de variación. La proporcionalidad, indica variaciones de un factor en función de otro. La mayoría de los sujetos, establece por lo general proporcionalidad directa y lineal entre dos factores, pero no siempre esta proporcionalidad es adecuada para los procesos físicos, es pues necesario, que el sujeto incorpore a su estructura cognoscitiva las diversas posibilidades de relaciones de proporcionalidad.

Vemos que con este pequeño análisis del desarrollo cognoscitivo, se han podido establecer una colección de aspectos y directrices que son elementos imprescindibles en la educación de las ciencias en general, puesto que esos elementos, establecen las formas estructurales que el sujeto puede desarrollar hasta alcanzar un estado de pensamiento formal. Sólo con todos estos elementos integrados estructuralmente en la forma de pensamiento de los sujetos cognoscentes, es posible que éstos, elaboren explicaciones y descripciones coherentes y formalmente válidas, capaces de someterse a juicios exteriores al sujeto dentro de un formalismo lógico. Además, como se ha apuntado, estos elementos plantean las directrices educativas a seguir, si bien de manera muy general, por ello, es necesario el acoplarlas con las otras directrices obtenidas a partir del análisis

epistemológico de la Física. Este conjunto con los elementos que puedan extraerse del proceso histórico, proporcionará acciones particulares.

RELACION DE LOS ELEMENTOS EPISTEMOLOGICOS Y PSICOPEDAGOGICOS

Al interrelacionar los elementos extraídos de la Epistemología de la Física y del desarrollo cognoscitivo del sujeto, nos damos cuenta que existe una gran compatibilidad entre los elementos apuntados. De hecho, mientras la Epistemología de la Física plantea sus elementos como aspectos imprescindibles del pensamiento del sujeto para la comprensión de esa disciplina científica, la parte Psicológica del desarrollo cognoscitivo, muestra la forma y los aspectos estructurales necesarios para establecer esa forma de pensamiento propia a la ciencia. Efectivamente, la epistemología desarrollada plantea la necesidad de que el sujeto cuente con un pensamiento formalizado para poder abordar la Teoría Física y los conceptos y operaciones en ella involucrados. Por su parte, el desarrollo psicológico establecido muestra qué elementos de pensamiento son los necesarios para que el sujeto pueda razonar formalmente, y bajo qué aspectos de acción y de pensamiento (por ejemplo, causalidad y proporcionalidad) deben estructurarse esos elementos.

También presenta el análisis epistemológico, la necesidad de la evidenciación de nuevas creencias en el sujeto cognoscente, creencias que en este caso, serán los conceptos y postulados físicos, pero el aspecto psicológico muestra que estas creencias y sobre todo su evidenciación, están limitadas por los elementos que hemos llamado prelógicos, puesto que aquí la evidenciación será fundamentalmente el con-vencerse de nuevas ideas o generarlas a partir de los elementos de juicio.

Del aspecto anterior debe entonces considerarse la experiencia. La epistemología marca la experiencia como el elemento de juicio - que proporciona nuevas alternativas en la presentación de un problema, y para la Psicología, esto representa la acción del sujeto - con todas las consecuencias apuntadas.

El proceso de descentración del sujeto de la acción realizada, puede verse en la medición, proporcionando además, las cantidades y variaciones de éstas, en los procesos físicos que apoyan al elemento de proporcionalidad.

La necesidad psicológica y teórica de la simbología, está plenamente manifestada en el aparato matemático, donde se establecen también reglas de inferencia deductiva.

Así pues, todos los aspectos de la Epistemología de la Física pueden establecerse efectivamente como directrices educativas, y que tienen un apoyo directo en el desarrollo cognoscitivo del sujeto - que aporta la psicopedagogía apuntada. Esto da coherencia a los elementos expuestos y a las directrices educativas formuladas, con lo que pueden establecerse juicios y acciones para desarrollar los procesos cognoscitivos dentro del formalismo de la Física, a la vez que ésta es aprendida, conocida por el sujeto.

Hemos establecido, que la Teoría Física para que pueda ser comprendida, es necesario que el sujeto cognoscente tenga una estructura de pensamiento acorde a las formas de esa teoría. Surge entonces, la pregunta ¿cómo formar ese pensamiento lógico en el sujeto? La respuesta está en la propia Teoría Física y en los fines que se establezcan. Veamos por qué. Hemos apuntado las características

de la Teoría Física, y su carácter intra-teórico que establece que toda acción e interpretación estará elaborada con los propios elementos de juicio de la teoría, a saber, su formalismo. Ahora -- bien, esto hace que todos los temas, problemas y en general concepciones de la Física por su propia elaboración, contienen todos los elementos necesarios del pensamiento formal, por consiguiente, pueden dependiendo de hasta donde se quiera llegar en la formalización, adecuar estas concepciones físicas de tal forma, que se resalten -- los aspectos cognoscitivos de pensamiento que se requieran para formar o generar en el sujeto esos elementos de pensamiento en su estructura de conocimiento. Así, la Física constituye una excelente disciplina para que los sujetos establezcan su estructura de pensamiento formal. Además, la Historia de la Física, cobra aquí especial significación aportando los elementos heurísticos de los que -- se habló en el primer capítulo, estos elementos consisten precisamente en encontrar situaciones con las características epistemológicas que se necesiten, ofreciendo además una enorme riqueza de situaciones experimentales y de problemática conceptual que perfectamente pueden hacerse compatibles con los elementos epistemológicos y -- psicopedagógicos marcados.

Con lo anterior se cierra, por así decirlo, lo que los elementos -- centrales apuntados por la Epistemología de la Física, la Psicopedagogía y la historia de dicha ciencia, aportan como elementos directrices y estructurantes para la enseñanza Media-Superior y Superior, y se regirán por el establecimiento del pensamiento formalizado a través de las concepciones físicas, hasta que el sujeto cognoscente pueda estructuralmente abordar la Teoría Física como tal.

Como puede apreciarse, al análisis realizado aporta elementos que pueden ser significativos en la educación a cualquier nivel. Estos elementos describen con gran detalle qué posibilidades tiene una experiencia de aprendizaje, así como qué elementos deben regirla. Este refinamiento del esquema de la enseñanza de la Física, no sería posible en un análisis <convencional> en donde se cuenta con una psicología del desarrollo cognoscitivo o una taxonomía según sea el caso, y una muy general concepción epistemológica del conocimiento por lo que la disciplina misma solo es tomada en cuenta como un conjunto de conocimientos a aprender, siendo éstos, acomodados dentro de la concepción psicológica, a lo más estableciendo un supuesto orden de simplicidad. Esto lleva a una concepción educativa defectuosa desde su origen, puesto que no se ha estudiado nada acerca de los conceptos que se pretenden enseñar, como si todos tuvieran la misma categoría epistemológica y por consiguiente la misma forma de aprendizaje.

El estudio de la Epistemología de la Física, muestra con claridad que esa concepción no es válida, por consiguiente el proceso educativo con ella elaborado lleva los peligros y desventajas apuntadas generalmente en una metodología sin contenido real porque éste no ha sido analizado.

Aquí hay que apuntar, que si bien el análisis desarrollado en este trabajo establece directrices hacia los procesos y alternativas educativas de la Física, no es un formulario, dista mucho de serlo y no sería consecuente con sus premisas. Así pues, no se presenta una metodología a seguir en todo caso, sino que se establecen los elementos epistemológicos y psicopedagógicos que deben tenerse siempre en cuenta, cada circunstancia debe estructurarse indepen--

dientemente si bien teniendo esos elementos como guía.

El contar con procesos educativos, que logren que el sujeto cognoscente elabore una estructura de conocimiento formalizada, le permitirá a éste abordar la teoría de la Física.

UN EJEMPLO PARA LA ENSEÑANZA SUPERIOR: LA REFRACCION DE LA LUZ

Se ha dicho, que los aspectos aportados sólo constituyen directrices sobre las formas y contenidos para el establecimiento de los procesos educativos y no una metodología. La relevancia que algunos de esos aspectos directrices cobre, dependerá fundamentalmente de la estructura de conocimiento de los alumnos, así como los re-querimientos formales de los conceptos físicos que se quieren abordar. El proceso educativo así desarrollado, debe estar, como lo marca el análisis realizado, centrado en la acción del sujeto tratando de formalizar su pensamiento y acciones, que le lleven a la propia elaboración de los conceptos físicos.

A continuación, se presenta un desarrollo, a manera de ejemplo, de la forma como los elementos apuntados llevan a la realización de un conjunto de acciones educativas con diversos fines. El ejemplo desarrollado no pretende ser óptimo, puesto que no es sino un desarrollo hipotético, esto es, no ha sido validado (evaluado), -- constituye sólo una forma de cómo poder elaborar una alternativa educativa en Física a nivel Superior, con los elementos que aportó el trabajo.

Consideremos a sujetos en un nivel de licenciatura, en los primeros semestres. Esto implica que podemos dar por establecido en sus estructuras cognoscitivas algunos elementos pre-lógicos como clasificación, seriación, orden, así como manejo operativo de las operaciones elementales del álgebra y la geometría.

Para ejemplificar, se seleccionó el tema de la refracción de la luz que es típico de este nivel (superior, primeros semestres).

Primero estableceremos que dentro de la Teoría Física, la refracción consiste en el cambio de dirección y de magnitud de velocidad que en una onda se provoca al pasar de un medio de propagación a otro con distintas características, estando determinadas las variaciones por el principio de Fermat, en el cual, se establece que la trayectoria de la onda será aquella en la que el tiempo empleado de ir de un punto del primer medio a otro del segundo sea mínimo, y la ecuación que describe el proceso es:

$$\text{Sen } \theta_1 = n \text{ Sen } \theta_2 \quad \text{con } n = n(v_1, v_2)$$

Como podrá apreciarse, en este concepto están las características que marca la Teoría Física y en donde encontramos desde los postulados como el principio de Fermat, la descripción en términos observables físicos como la dirección y la velocidad, las relaciones causales a través de los medios de propagación sujetos al postulado, y la representación simbólica en una función matemática. Esto implica que la comprensión de la refracción requiere el reconocimiento de todos estos factores y de la lógica de pensamiento para poder internalizar la concepción y usarla para la explicación y relación de otros procesos físicos en donde la refracción es causal.

En este momento, se harán algunos supuestos sobre la información del alumno. Esto es se supondrá que tiene noticia al menos de los conceptos de velocidad, dirección, trayectoria, onda y rayo luminoso, que generalmente se dan antes de abordar éste proceso físico.

Con todo lo anterior, se procederá a que el estudiante realice una descripción e ideas de explicación, sobre diversas situaciones observacionales, donde el fenómeno se manifiesta y que podríamos decir ocurren en la vida cotidiana como serían, el introducir un objeto recto dentro del agua, o ver a través de una lente, etc. Con estas acciones, el sujeto cognoscente describirá diversos procesos; en ésta descripción, necesariamente deben aparecer los elementos prelógicos que maneja, puesto que serán evidentes sus clasificaciones, sus procesos de ordenamiento, de establecimiento de secuencias, de reversibilidad y de recurrencia según el caso, además de identificar creencias y formas de representación.

Dado ese estado de descripciones esperadas, resultaría extremadamente útil, el recurrir a la Historia de la Física, en donde Ptolomeo ante circunstancias similares propone una serie de experiencias (el estado de cosas similares en la descripción, puede verse en la cita a la obra de Ptolomeo que se dan en el primer capítulo pág. 15 - 16). Ptolomeo propone una experiencia muy significativa con un recipiente circular, agua y una moneda.³ ^{N1} La experiencia consiste en depositar cerca del fondo del recipiente, un pe-

³ Cohen, M. Drabkin I. A source book in Greek Science. pág. 273.

queño objeto y colocarse el observador en una posición en la que ese objeto no pueda verse, después se le agregará agua o cualquier otro líquido, hasta un nivel en el que el objeto será visible al observador.

La relevancia de esta experiencia consiste en hacer una representación simbólica del proceso, lo que en este caso será una representación geométrica. Con ello, el sujeto tendrá más posibilidades de inferencia puesto que la descripción simbólica delimitará las cosas ideales y simples del proceso físico a través de la noción de rayo luminoso y propagación rectilínea. Además, dada la geometría de la representación puede inferirse por analogía otro proceso, en el cual pueden establecerse relaciones cuantitativas.

Efectivamente, dentro de nuestra secuencia lógica, dada la representación simbólica, deben de seguirse las formas de variación, de esa representación en función de la variación de las condiciones iniciales. Aquí, se está en un punto muy importante, puesto que es el sujeto quien va a realizar las variaciones, quien va a provocar los cambios en el sistema físico.

Una vez establecido el proceso experimental ^{N²} (por inferencia analógica) se está en posibilidad de abordar el primer problema formal. ¿Cómo son las variaciones de los haces luminosos refractados al variar las condiciones de las haces incidentes?

Aquí el sujeto cognoscente estará en la necesidad de formalizar sus observaciones, esto es, deberá identificar los parámetros adecuados para describir las variaciones y establecer la correspondiente proporcionalidad entre ellos. La medición, cobra aquí su

papel de descentración de las observaciones del sujeto, así como - las necesidades de control específicos del proceso experimental. Finalmente, en la parte de proporcionalidad se tiene la posibilidad de encontrar una funcional matemática descriptiva del proceso. Ahora bien, esa relación funcional de los parámetros observacionales (en este caso los ángulos de incidencia y refracción) es compleja, por lo que nuevamente habrá que recurrir a una representación geométrica dada por la gráfica establecida con las mediciones. Sin embargo, no podrá encontrarse una relación matemática simple - para describir el comportamiento de la representación gráfica que se encontrará.

Aunque no se tiene representación simbólica (matemática) del proceso por las dificultades de análisis gráfico, el estudiante cuenta con una visión descriptiva bastante completa y formalizada del proceso. Sin embargo, queda por averiguar la reversibilidad del evento físico, para lo cual nuevamente se recurrirá a la situación experimental establecida y realizar la experiencia intercambiando los rayos incidente y refractado.

Con la realización y descripción del último desarrollo experimental se puede establecer descriptivamente todo el proceso de refracción, en el cual se han utilizado elementos de pensamiento pre-lógicos, - así como dar una estructura coherente a la ocurrencia del proceso - físico.

Para que la representación descriptiva quede totalmente formalizada, debe encontrarse la expresión matemática correspondiente (la cual podrá representar todos los casos posibles). Ante la dificultad - que presenta el análisis gráfico ^{N₁}, podemos recurrir nuevamente al proceso histórico, sólo que aquí será exclusivamente sobre el razo-

namiento matemático.

El ejemplo histórico consistirá en la formalización primera de la ecuación de refracción, realizada por W. Snell (1540 - 1626) ^{N^o}. La forma de descripción de Snell, tendrá dos exigencias para el alumno, la primera es determinar que la propuesta de Snell, es consecuente con sus propias observaciones, lo que obligará al estudiante a establecer una nueva formulación observacional (en este caso, no sobre los ángulos de incidencia y refracción, sino sobre la proporcionalidad entre dos segmentos que son el haz de luz real y el aparente). Este proceso obligará a establecer nuevas relaciones entre sus observables, lo cual irá conformando su esquema bajo otra secuencia en el uso de los procesos lógicos. Como segundo punto, estará la representación matemática de Snell que debe ser establecida en función de los parámetros originales (ángulos de incidencia y de refracción) y que exigirá un ejercicio matemático.

Al terminar todo este proceso, se tendrá la descripción formalizada del fenómeno de refracción, el alumno contará entonces con todos los elementos del proceso, formándose una visión particular de ésta. Sin embargo, no se han establecido relaciones causales. Aunque la descripción es formalizada, no se han establecido ni que efectos ni bajo qué principios es que se da la refracción. Es necesario en este momento que el estudiante genere ideas de causalidad. La analogía, puede nuevamente ofrecer la primera perspectiva. En este caso, dada la rapidez de propagación de la luz, es necesario encontrar una experiencia que permita darse cuenta en otro tipo de ondas, de las variaciones de velocidad. Para ello puede establecerse un dispositivo experimental por ejemplo con ondas planas en agua, y observar sus variaciones ^{N^o} en términos de longitud de onda y frecuen

cia que determinan la magnitud de la velocidad de propagación. Este caso es simple y la inferencia por analogía se puede hacer directamente. Con ello, se integra a la descripción una primera relación causal, a saber, el efecto de refracción debido al cambio de velocidad, tanto en magnitud como en dirección. Hay que distinguir, que no es una relación causal, en el sentido de una causa última, sino solamente, la que interconecta en la descripción el fenómeno observacional con las variaciones de sus propiedades en los medios correspondientes. Es importante observar, que en los procesos físicos, estos tipos de relaciones causales, en realidad van estableciendo formalmente una descripción cada vez más completa del proceso físico analizado por lo que es necesario distinguir estas relaciones causales, de la causalidad como el único y primer motivo.

Con todo lo anterior, el sujeto cognoscente, estará, (si ha podido incorporar todos los elementos a su forma de pensamiento) en posibilidad de estructurar todos los elementos desarrollados en base a un principio, el mismo que dará validez y unidad a la descripción y relaciones encontradas. Aquí nos encontramos nuevamente con el aspecto de la creencia, puesto que el principio no puede más que ser sustentado por toda la experiencia previa sin relación directa. En este caso el principio de Fermat, es el que dará unidad y validez a lo establecido, al mostrar que la descripción e interpretación causal, puede encontrarse con él ^{Nº}.

Es muy importante aclarar, que éste es un ejemplo hipotético en el cual se ha establecido toda la secuencia de razonamiento, que puede formalizar la estructura de pensamiento del sujeto cognoscente, no es una secuencia didáctica a seguir, puesto que es claro

que con una sola experiencia no puede establecerse una estructura de pensamiento formal, se necesitaría una gran cantidad de ese tipo de experiencias así como ir estableciendo diversos grados de relevancia de los distintos elementos de pensamiento, además que debe irse adecuando al desarrollo propio que los sujetos van estableciendo.

Sin embargo, el ejemplo es esquemático de como una experiencia física puede estructurarse de tal manera que permita dar alternativas y situaciones de pensamiento que proporcione elementos para que el sujeto, en el hacerse su conocimiento, formalice su estructura cognoscitiva.

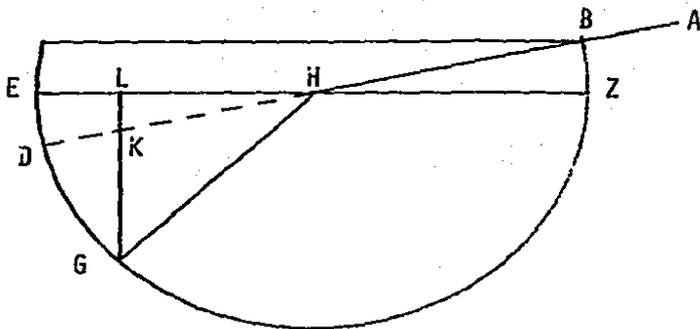
NOTAS

N¹ Ptolomeo describió su experiencia de la siguiente forma: "Es claro y obvio que podemos entender esto inmediatamente con la ayuda de una moneda colocada en un vaso llamado baptistir. Se observa desde una posición desde la cual los rayos visuales que emanan, pasan sobre el borde del vaso y alcanzan un punto que esté - más alto que la moneda.

Fermandiendo la moneda en su posición y agregando agua dentro del vaso hasta que los rayos que pasan justamente sobre el borde se do bien hacia abajo hasta la posición de la moneda. El resultado es que el objeto que no se veía, puede ser visto a lo largo de la línea recta desde el ojo a un punto arriba de la posición real del - objeto. El observador no supone que el rayo visual ha sido doblado hacia el objeto sino que parece flotar. El objeto, por lo tanto, aparece arriba sobre la perpendicular a la superficie del agua.

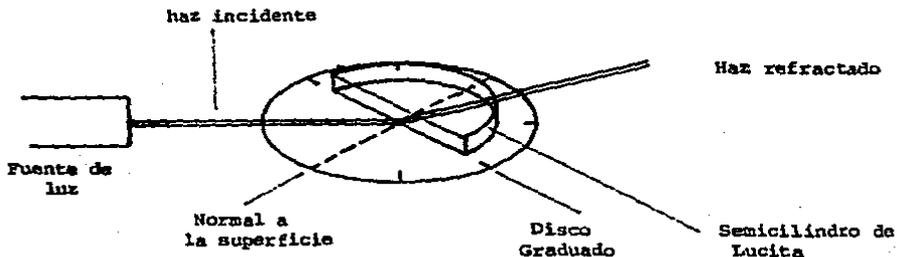
Entonces, si el ojo es colocado en el punto A y la moneda en el punto G en la parte inferior del vaso, la moneda no puede ser vista y el vaso se ve vacío, la razón, es que la porción del vaso que está abajo del punto B bloquea al rayo visual que llegaría directamente a la moneda. Pero cuando el agua es colocada dentro del vaso hasta el nivel ZHE, el rayo ABH, es doblado en la dirección de - GH abajo de la prolongación de AH. En éste caso, la posición de la moneda aparece sobre la perpendicular de G a EH, esto es, sobre LKG, el cual cruza AH en K. La posición aparente de la moneda estará - sobre la línea procedente del ojo y que pasa por K. La moneda por lo tanto se ve en K¹.

¹ Cohan y Drabkin. An investigation on refraction. Optics V. en -
A source book in Greek Science. Pág. 151 - 152



Esquema de la experiencia de Ptolomeo
en el baptistir

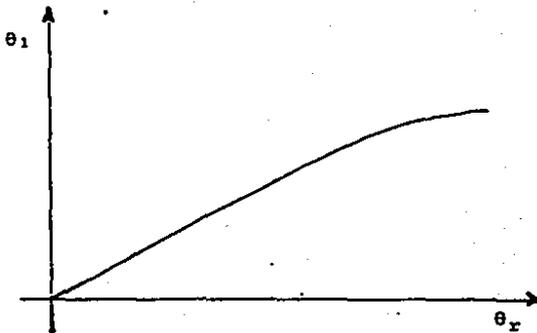
N² El proceso experimental que aquí se refiere, consiste en hacer pasar un haz de luz colimado, por un semi-cilindro de lucita o vidrio que será el medio refringente y que estará colocado sobre un disco graduado en 360°, de manera que pueda directamente encontrarse las variaciones de ángulos incidentes y refractados. De hecho, esta situación experimental es un refinamiento de la experiencia de Ptolomeo.



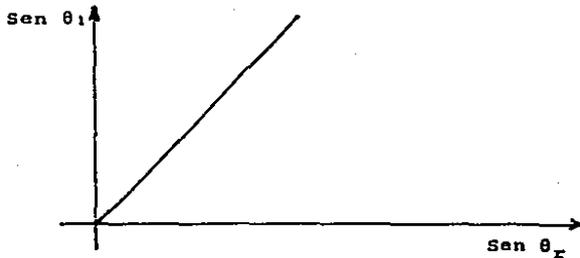
Dispositivo experimental

N³ La gráfica que se obtiene con los ángulos de incidencia y de refracción, no es una gráfica simple para el estudiante de este nivel puesto que no es una recta, ni una curva potencial. Sin embargo, esta gráfica puede linealizarse con un cambio de variable que será el seno de los ángulos ($\alpha = \text{sen } \theta_1$; $\beta = \text{sen } \theta_2$).

Pero este cambio de variable que normalmente se propone a los alumnos que realicen y que dará la ecuación correcta, no es comprensible para el alumno, puesto que no es justificable un cambio de variable, sin el establecimiento de un proceso formal que llevaría necesariamente a una deducción matemática.



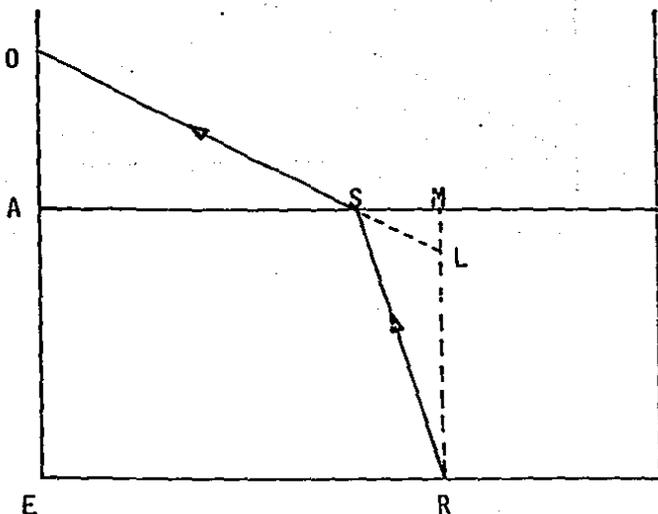
Gráfica sin cambio de variable



Gráfica con cambio de variable

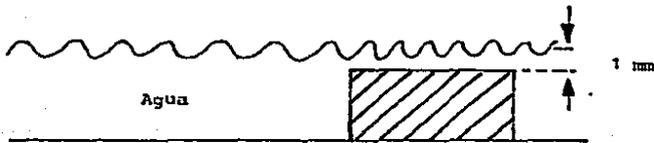
N^o W. Snell enunció la ley de la siguiente forma. "Si el ojo O (en el aire) recibe un rayo de luz proveniente de un punto R en un medio (agua) y es refractado sobre la superficie A en el punto S, entonces O observa el punto R como si estuviera en el punto I sobre la línea RM perpendicular a la superficie A. Por lo que SL/SR es constante para todos los rayos"².

² Dictionary of Scientific biography. vol. XII pag. 501

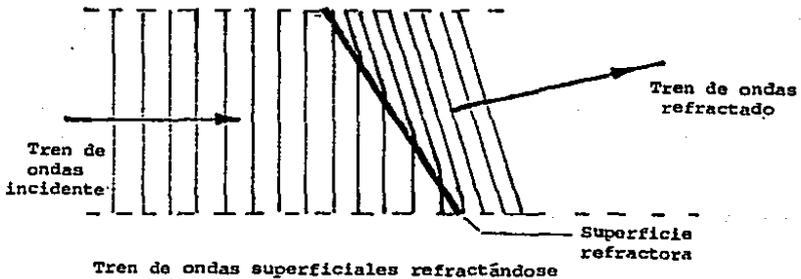


Esquema de refracción de Snell

N⁵ En este dispositivo experimental, la finalidad será hacer pasar un tren continuo de ondas planas formado en la superficie del agua, de un medio a otro con distintas características para que se presente la refracción; ésto se logra haciendo que una parte de la profundidad del agua sea mucho menor que el resto.



Condición para la refracción



En este caso, no sólo se observará el cambio en la dirección de propagación de las ondas, sino también, una variación en la longitud de onda entre los dos medios, variación que es debida a un cambio en la magnitud de la velocidad de propagación.

N^o El principio de Fermat, en su condición de tiempo mínimo, provee de un mecanismo matemático que aplicado a la trayectoria de un rayo de luz (en general a cualquier onda viajera), establece directamente la relación de Snell, y la constante como función de las velocidades de propagación.

La demostración es la siguiente:

El principio de Fermat, establece que el tiempo de recorrido entre dos puntos en los dos medios, debe ser un mínimo, esto es:

$$t = t_1 + t_2 \quad \text{debe ser mínimo}$$

De la figura, se encuentra que:

$$t_1 = \frac{d_1}{V_1} = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{V_1} \qquad t_2 = \frac{d_2}{V_2} = \frac{\sqrt{(c-x)^2 + y^2}}{V_2}$$

Con V_1 y V_2 las magnitudes de la velocidad en cada medio.

De la condición del principio de Fermat, se tiene que:

$$\frac{dT}{dx} = 0 \qquad \text{con } T = t_1 + t_2$$

$$\text{Por tanto } \frac{d}{dx} (t_1 + t_2) = \frac{d}{dx} \left[\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{V_1} + \frac{\sqrt{(c-x)^2 + y^2}}{V_2} \right]$$

$$\text{de donde } \qquad \qquad \qquad = \frac{x}{V_1 \sqrt{x^2 + y^2}} - \frac{(c-x)}{V_2 \sqrt{(c-x)^2 + y^2}} = 0$$

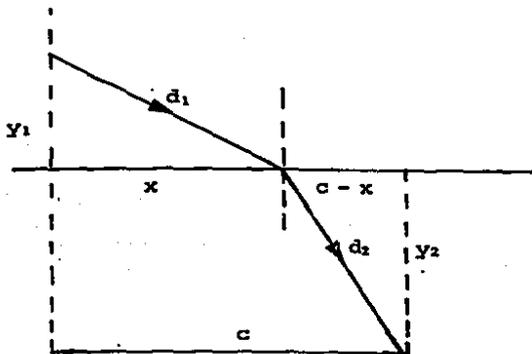
como $\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \text{sen } \theta_1$ y $\frac{c - x}{\sqrt{(c - x)^2 + y^2}} = \text{sen } \theta_2$

se tiene $\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$

que es la ecuación buscada y que establece la relación:

$$n = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{esto es } n(v_1, v_2)$$

que se esperaba.



BIBLIOGRAFIA BASICA

- Agazzi Evandro: Temas y problemas de Filosofía de la Física. Tr. J. Vidal. Barcelona. Edit. Herder. 1978. 470 pág.
- Aquinas Saint Thomas: Summa Theologica. Vol. I. Tr. Father of the English Dominican Province Chicago. Edit. The University of Chicago. 1980. 826 pág. (Great books of the Western World).
- Arons A. B.: Cultivating the capacity for formal reasoning: Objectives and procedures in an introductory physical science course. Rev. American Journal of Physics. Vol. 44, No. 9, Septiembre de 1976.
- Armstrong D.M.: La percepción y el mundo físico. Tr. Pedro García Ferrero. Madrid. Edit. Tecnos. 1966. 235 pág. (Estructura y función).
- Ausubel P. David: Psicología Educativa. Tr. Robert He-lier Domínguez. México. Edit. Trillas 1976. 764 pág.

- Blanché Robert: El método experimental y la filosofía de la física. Tr. Agustín Escurdia. México. Edit. Fondo de Cultura Económica. 1980. 592 pág. (Breviarios).
- Campbell Robert: Medición del libro de Newman. James R.: Sigma. Vol. V Tr. Manual Sacristán. 8a. Ed. Barcelona. Edit. Grijalbo. 1980. 464 pág.
- Cohen Morris R. y Drabkin I.E.: A source book in greek science. U.S.A. Edit. Harvard University Press. 1975. 581 pág.
- Cohen Morris R. y Nagel Ernest: Introducción a la lógica y al método científico. Vol. I y II Tr. Nestor A. Míguez. Buenos Aires. Edit. Amarrortu. 1983. Tomo I 268 pág., - Tomo II 284 pág.
- Copleston Frederick S.I.: Historia de la filosofía. Vol. III y VI Tr: Juan Carlos García Borrón. 4a. ed. Barcelona. Edit. Ariel. - 1979. Tomo III 450 pág., Tomo VI 464 pág. (Colección convivium).
- Crombie A. C.: Historia de la Ciencia: de San Agustín a Galileo. Vol. I y II Tr. José Bor-nia. 3a. ed. Madrid. Edit. Alianza Editorial. 1980. Tomo I 292 pág., Tomo II 354 pág. (Alianza Universidad).

- Galilei Galileo:** Discorsi e dimostrazioni matematiche. Bruselas. Ed. Culture et Civilization. 206 pág. (Copia del original).
- Gauld, Colin F.:** Physics teaching and cognitive functioning. Rev. The physics teacher. Noviembre 1979.
- Gilson Etienne:** La filosofía en la Edad Media. Desde los orígenes patristicos hasta el fin del siglo XIV. Tr. Arsenio Pacio y Salvador Caballero. 2a. ed. Madrid. Edit. Gredos. 1965. (Biblioteca Hispánica de Filosofía).
- Ginestra Amaldi:** The Nature of Matter. Tr. Peter Astbury. Chicago. Edit. The University of Chicago Press. 1982. 332 pág.
- Grant Edward:** La ciencia física en la edad media. Tr. Adalberto Weinberger. México. Edit. Fondo de Cultura Económica-CONA CyT. 1983. 241 pág. (Breviarios).
- Guy Avanzini:** La pedagogía en el siglo XX. Tr. Jaime Vegas. Madrid. Edit. Narcea Ediciones. 1977. 399 pág. (Educación - hoy).

Harrison H. S.:

Discovery, invention, and diffusion.
del libro A history of Technology
Editado por Charles Singer.; E. J.
Holmyard y A. R. Hall. Vol. I Oxo-
ford, Clarendon Press 1979 827 pág.

Heisenberg Werner:

La imagen de la naturaleza en la fi-
sica actual. Tr. Gabriel Ferraté -
2a. ed. Barcelona Edit. Seix Barral
1967 185 p. (Biblioteca breve)

Más allá de la física. Tr. Carmen -
Carreras Matas. Madrid Edit. La Edi-
torial Católica 1974, 258 pág. (Biblio-
teca de autores cristianos)

Hilbert D. y Ackerman, W.:

Elementos de lógica teórica. Tr. Vic-
tor Sánchez de Zavala. 2a. ed. Madrid
Edit. Tecnos 1975 213 pág. (Estructu-
ra y función)

Jeans Sir James:

Historia de la Física. Tr. M. Hernán-
dez Barroso. México, Edit. Fondo de
Cultura Económica. 1982 417 pág. -
(Breviarios)

Koyré Alexandre:

Estudios de Historia del pensamiento
científico. Tr. Encarnación Pérez -
Sedaño y Eduardo Bustos. 6a. Ed. Mé-
xico Ed. Siglo XXI 1984 394 pág.

Kuhn Thomas:

La revolución copernicana. Tr. Domenec Bergadà. Barcelona. Edit. Ariel 1981. 378 pág. (Ciencia de la ciencia).

La estructura de las revoluciones científicas. Tr. Agustín Contín. México. Edit. Fondo de Cultura Económica. 1983. 319 pág. (Breviarios).

La tensión esencial: Estudios sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia. Tr. Robert Helier. México. Fondo de Cultura Económica y CONACyT. 1982. 380 pág.

Landsheere Viviane y Gilbert:

Objetivos de la educación. Tr. Alexandre Ferrer. 2a. ed. Barcelona. Edit. Oikos-tau. 1981. 316 pág. (Didáctica).

Mialaret Gaston:

Ciencias de la educación. Tr. Alicia Ramón García. 2a. ed. Barcelona. Edit. Oikos-tau. 1981. 117 pág.

Montserrat Santiago:

Psicología y Física. Barcelona. Edit. Herder. 297 pág. (Biblioteca de Psicología).

Moore T.W.:

Introducción a la teoría de la educación. Tr. Miguel A. Quintanilla. Madrid. Edit. Alianza Editorial. 1980. 130 pág. (Alianza Universidad).

Mouly George J.:

Psicología para la enseñanza. Tr. Vicente Agust Armer. 3era. ed. México. Editorial Interoamericana. 1978. - 486 pág.

Nagel Ernest:

Razón soberana y otros estudios de Filosofía de la ciencia. Tr. Sovereing Revson Madrid. Edit. Tecnos. 1966. 343 pág. (Estructura y función).

Ortega y Gasset J.:

La idea de principio en Leibniz. Madrid. Edit. Alianza Editorial. 1979. 378 pág. (Obras de José Ortega y Gasset).

Investigaciones Psicológicas. Madrid. Edit. Alianza. 1981. 239 pág. (Obras de José Ortega y Gasset).

Pérez Silva J.L.; Gallegos Cázarez L.; Flores Camacho F.:

Epistemología y psicología y conceptos físicos. México. Centro de Instrumentos UNAM. 1984. (Publicación Interna).

Piaget Jean:

Introducción a la epistemología genética. II El pensamiento físico. Tr. Eugenia Fischer. 2a. ed. Buenos Aires. Edit. Paidós. 1979. 289 pág. (Biblioteca evolutiva).

La formación del símbolo en el niño. Tr. José Gutiérrez. México. Edit. Fondo de Cultura Económica. 1982. 401 pág. (Biblioteca de psicología y psicoanálisis).

Adaptation and Intelligence. Tr. Stewart Eams Chicago. Edit. University of Chicago Press. 1980. 124 pág.

Experiments in Contradiction. Tr. - Derek Coltman Chicago. Edit. University of Chicago Press. 1980. 310 pág.

Piaget Jean, Inhelder B.:

De la lógica del niño a la lógica del adolescente. Tr. Ma. Teresa Covasco. Buenos Aires. Edit. Paidós. 1972. - 394 pág. (Biblioteca de Psicología - evolutiva).

Piaget Jean, García Rolando:

Psicogénesis e Historia de la ciencia. México. Edit. Siglo XXI. 1982. - 252 pág.

Piaget Jean, Ullmo Jean, De Broglie Louis, Costa de Beauregard, Olivier.:

Epistemología de la Física. (Dirigido por Jean Piaget). Tr. M.M. Prelooker. Buenos Aires. Edit. Paidós. 1979. - 189 pág. (Tratado de lógica y conocimiento científico).

Piaget Jean, Werthcimer Max, Henle Mary, Woodworth Robert y otros:

Investigaciones sobre lógica y psicología. Introducción y compilación de Juan A. Delval) Madrid. Edit. Alianza Editorial. 1977. 307 pág. (Alianza Universidad).

Piaget, Apostel, Cebrier,
Desanti, Garcia, Granger,
Halbwachs, Henriques, La -
drieré, Sachs, Sinclair de
Zwart:

Platón:

Poincaré Henri:

Popper Karl R.:

Reichenbach Hans:

La explicación en las ciencias. Tr. Josep Dalman Ferrán. Barcelona. - Edit. Martínez Roca. 1977. 222 pág.

Obras Completas. Tr. María Araujo; Francisco García Yangüe; Luis Gil; José Antonio Miguez María Rico; Antonio Rodríguez Huesca y Francisco P. de Samarach. 2a. ed. Madrid. - Edit. Aguilar. 1979. 1715 pág. - (Grandes Culturas).

Filosofía de la ciencia. Tr. Sergio F. Beltrán. México. Edit. CONACYT. 1981. 283 pág. (Ciencia y Desarrollo).

La lógica de la investigación científica. Tr. Victor Sánchez de Zava la. Madrid. Edit. Tecnos. 1982. - 451 pág. (Estructura y función).

Conjetures and Refutations. 4a. ed. Edit. Routledge and Kegan Paul. 1984. 431 pág.

La filosofía científica. Tr. Horacio Flores Sánchez. 2a. ed. México. Edit. Fondo de Cultura Económica. 1981. - 333 pág. (Obras de filosofía).

- Roberts Fred S.: Measurement Theory. Massachusets. Edit. Addison-Wesley. 1979. 420 pág. (Encyclopedia of mathematics and - its applications. Vol. 7).
- Robles José Antonio: El problema de los universales: El realismo y sus críticos. México. Edit. UNAM. 1980. 236 pág. (Filosofía contemporánea).
- Sawrey James M. y Telford - Charles W.: Psicología educacional. Tr. Laura - Millán de Oatlorra. México. Edit. - Compañía editorial continental. 1979. 636 pág.
- Schlick Moritz: Filosofía, metafísica y significado. En el libro de ayer A.J. El positivismo lógico. Tr. L. Aldama; U. Frisch; C.N. Molina. México. Edit. Fondo de Cultura Económica. 1981. 417 pág. - (Obras de filosofía).
- Sellars Wilfrid: Ciencia, percepción y realidad. Tr. Víctor Sánchez de Zavala. Madrid. - Edit. Tecnos. 1971. 283 pág. (Estructura y función).
- Sarton George: Ciencia antigua y civilización moderna. Tr. Concha Albornoz. México. Edit. Fondo de Cultura Económica. 1980. 132 pág. (Breviarios).

- Struik Dirk J.:** A history of Science. Vol. I. USA. Edit. Norton Library. 1970. 640 pág.
- Taba Hilda:** Elaboración del currículum. Buenos Aires. Edit. Troquel. 1976. 602 pág.
- Truesdell C.:** Ensayos de Historia de la mecánica. Tr. Juan Carlos Navascues Howard y Enrique Tierno Pérez-Redaño. Madrid. Edit. Tecnos. 1975. 343 pág. (Estructura y función).
- Wall W. D. y Varma V. P.:** Avances en Psicología de la Educación. Tr. Luis Echeverría Rivera. Madrid. Edit. Morata. 1975. 247 pág.
- Wartofsky Marx W.:** Introducción a la filosofía de la ciencia. Tr. Magdalena Andreu; Francisco Carmona y Víctor Sánchez de Zavala. 2a. ed. Madrid. Edit. Alianza editorial. 1983. 679 pág. (Alianza Universidad).
- Weizsäcker Carl F. Von:** La imagen física del mundo. Tr. Eutimio Martino y Joaquín Sanz Guijarro. Madrid. Edit. La editorial Católica. 1974. 287 pág. (Biblioteca de Autores Cristianos).

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- Achinstein Peter: The nature of explanation. New York. Edit. Oxford University y Press. - 1983. 381 pág.
- Bachelard Gaston: Epistemología. Tr. Elena Pasa. Barcelona. Edit. Anagrama. 1973. 354 pág.
- Bieri Peter; Hostmann -
Wolf-Peter; Krüger Lorenz: Transcendental arguments and science. London. Edit. Reidel Publishing Company. 1979. 311 pág. (Essays in - epistemology).
- Brown Harold I.: La nueva filosofía de la ciencia. Tr. Guillermo Solana diez y Hubert Marrant. Madrid. Edit. Tecnos. 1984. 235 pág. (Serie de Filosofía y Ensayo).
- Cobo Suero J. M.: La enseñanza superior en el mundo. Madrid. Edit. Narcea. 1979. 358 pág. (Educación hoy).
- Cohen Jonathan L.: The probable and the probable. Great Britain. Edit. Clarendon Press Oxford. 1977. 363 pág.
- Feyerabend Paul; Kuhn Thomas; Lakatos Imre; Masterman Margaret; Popper Karl; Toulmin Stephen; Watkins John; Perce Williams L.: Criticism and the Growth of Knowledge. Editado por Imre Lakatos y Alan Nusgrave. New York. Edit. Cambridge University Press. 1982. 870 pág.

Feyerabend Paul K.:

Problems of empiricism. New York. Edit. Cambridge University Press. 1981. 155 pág. (Philosophical papers).

Fraisse Paul; Piaget Jean:

La inteligencia. Tr. Victor Fishmen. Barcelona. Edit. Paidós Ibérica. 1983. 24 pág. (Tratado de Psicología experimental).

Gagné Robert M. y Briggs - Leslie J.:

La planificación de la enseñanza. México. Edit. Trillas. 1983. 287 pág.

Harré R.:

The philosophies of science. Great Britain. Edit. Oxford University Press. 1983. 191 pág.

Holton Gerald:

Thematic origins of science thought. U.S.A. Edit. Harvard University Press 1973. 495 pág.

Inhelder B.; Bonet M. y Sindar H.:

Aprendizaje y estructuras del conocimiento. Tr. Luis E. Echeverría Rivero. Madrid. Edit. Morata. 1975. 366 pág.

Juif Paul y Legrand Louis:

Didáctica y renovación pedagógica. - Tr. Ma. Teresa Palacios. Madrid. Edit. Narcea. 1980. 176 pág. (Educación - hoy).

- Lakatos Imre:** Proofs and Refutations: the logic of mathematical discovery. Great Britain. Edit. Cambridge University Press. 1984. 174 pág.
- Logan Lillian M. y Logan Virgil G.:** Estrategias para una enseñanza creativa. Tr. Alicia Ramón García Barce lona. Edit. Oikos-Tau. 1979. 335 - pág. (Ciencias de la educación).
- López Román Jesús:** Inteligencia y proceso educativo. Barcelona. Edit. Oikos-Tau. 1979. 133 pág. (Ciencias de la educación).
- Moreno Monstserrat y Sartre Genoveva:** Aprendizaje y desarrollo intelectual. México. Edit. Gediza. 1983. 268 pág.
- Nicol Eduardo:** Los principios de la ciencia. México. Edit. Fondo de Cultura Económica. - 1984. 511 pág. (Obras de filosofía).
- Not Luis:** Las pedagogías del conocimiento. Tr. Sergio René Madero Báez. México. Edit. Fondo de Cultura Económica. 1983. - 495 pág. (Obras de Educación).
- Roberts Thomas:** Cuatro psicologías aplicadas a la educación. Vol. I Freudiana y transperso nal. Vol. II Behaviorista y humanísti ca. Tr. Aurora Cameno. Madrid. Edit. Narcea. 1978. Tomo I 312 pág. Tomo II 302 pág. (Educación hoy).

Stössner Arturo:

Psicología pedagógica. Tr. Panilewsky. Buenos Aires. Edit. Lozada. - 1966. 270 pág. (Biblioteca pedagógica).

Titone Renzo:

Metodología didáctica. Tr. Manuel Rivas Navarro. 6a. ed. Madrid. Edit. Rialp. 1976. 667 pág. (Biblioteca de Educación y Ciencias Sociales).

Toulmin Stephen:

La comprensión humana: el uso colectivo y la evolución de los conceptos. Tr. Nestor Miguez. Madrid. Edit. - Alianza Editorial. 1977. 521 pág. - (Alianza Universidad).

Westfall Richard S.:

The construction of modern science. U.S.A. Cambridge University Press. 1982. 171 pág. (The Cambridge history of science series).