

00521  
164



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

## “INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA, ENFOCADA A FACTORES QUE FAVORECEN Y FACTORES QUE OBTACULIZAN LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS”

Dirección General de Bibliotecas  
... difundir en formato electrónico e impre...  
... de mi trabajo...  
Alfonso Urbina Romero  
14 de Mayo del 2003  
Urbina

### T R A B A J O M O N O G R Á F I C O DE ACTUALIZACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO QUÍMICO**  
P R E S E N T A :  
**ALFONSO URBINA ROMERO**



MÉXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2003.

1



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

**Presidente:** Prof. PILAR MONTAGUT BOSQUE

**Vocal:** Prof. ADELA CASTILLEJOS SALAZAR

**Secretario:** Prof. LEON C. CORONADO MENDOZA

**1er Suplente:** Prof. ALEJANDRO IÑIGUEZ HERNÁNDEZ

**2º Suplente:** Prof. JESÚS GRACIA MORA

**SITIO DONDE SE REALIZÓ EL TEMA:**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
BIBLIOTECA Y HEMEROTECA DE LA FACULTAD DE  
QUÍMICA  
HEMEROTECA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y  
BIBLIOTECA CENTRAL.

*P. Montagut B*

ASESOR: PILAR MONTAGUT BOSQUE

*Urbina*

SUSTENTANTE: ALFONSO URBINA ROMERO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*e*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Ma. Del Carmen Romero de Urbina y Alfonso Urbina Jiménez por su entrega incondicional y amorosa.

A mis hermanas Ma. Del Carmen Urbina Romero y Mercedes Urbina Romero por su acompañamiento durante mi formación.

A mis maestros, especialmente a la maestra Pilar Montagut Bosque, por su apoyo y asesoramiento en la realización de este trabajo.

Muchas Gracias.

## ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN	6
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVO	13
CAPITULO I "ANTECEDENTES"	14
1.1 Los Elementos del Conocimiento	15
1.2 El Pensamiento Cotidiano y el Pensamiento Científico	17
1.3 Algunas Consideraciones sobre lo Propio del Pensamiento Científico	18
CAPITULO II "Breve Revisión Histórica del Pensamiento Científico"	21
2.1 La Revolución Científica (1543-1687)	22
2.2 El desarrollo de la Ciencia en el Siglo XIX	25
2.3 Teorías epistemológicas en el siglo XX	28
2.3.1 Neopositivismo	28
2.3.2 Operacionismo (Operativismo)	31
2.3.3 Epistemología de Gaston Bachelard	32
2.3.4 Racionalismo Crítico de Karl R. Popper	34
2.3.5 Epistemología Postppoperiana	36
2.3.6 Thomas S. Kuhn	36
2.3.7 Imre Lakatos	38
2.3.8 Paul K. Feyerabend	40
2.3.9 Larry Laudan	42
2.3.10 Toulmin	43
2.4 Cuadro de Escuelas de Pensamiento en Filosofía de la Ciencia	44
CAPITULO III "Primer Nivel: Del conocimiento Común al Conocimiento Científico"	45
3.1 Dos Niveles de Aprendizaje	46
3.2 Conocimiento Común y Conocimiento Científico	48
3.3 Las Ideas Previas de los Alumnos y los Heurísticos	52
3.2.1 Las Concepciones Espontáneas	55
3.2.2 Las Concepciones Inducidas	64

A

3.2.3 Las Concepciones Análogas. -----	67
3.4 Habilidades y actitudes para la Adquisición de Conocimiento Científico ----	69
CAPITULO IV "Segundo Nivel: Cambio Entre Distintos Paradigmas Científicos"	73
4.1 Concepciones Epistemológicas -----	74
4.1.1 El Aprendizaje por Transmisión-Recepción -----	80
4.1.2 El Aprendizaje por descubrimiento -----	82
4.1.3 El Constructivismo y Cambio Conceptual -----	85
4.1.4 El Modelo de Enseñanza/Aprendizaje como Investigación -----	91
4.2 El Papel de la Historia y la Filosofía de la Ciencia en la Enseñanza -----	97
4.2.1 La HFC y la Selección del Currículo -----	98
4.2.2 La HFC y el Trabajo en el Aula -----	101
4.2.3 La HFC y la formación del Profesorado. -----	103
CONCLUSIONES -----	107
LÍNEA DEL TIEMPO -----	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. -----	118

## **JUSTIFICACIÓN**

Más como objetivo personal que otra cosa, hay dos razones, dos motivos fundamentales, basados en mi experiencia, que me han animado a la realización de este trabajo:

- Por una parte la experiencia de haber sido formado, de haber recibido una enseñanza que podría calificarse, en general, como tradicional. Una enseñanza que contempló poco o nada, muchos de los factores que se presentan en esta investigación y que son fundamentales en la enseñanza de las ciencias. Factores que, de haber sido considerados, habrían modificado muchas de las actitudes negativas e ideas erróneas que me fui formando a lo largo de mi formación académica.
- Por otro lado, la experiencia de haber estado algún tiempo frente a grupos de estudiantes como docente. Haber sido profesor de materias científicas, me hizo vivir en carne propia la realidad de una cultura muy pobre en lo que a ciencia se refiere. Viví claramente el rechazo de un gran número de alumnos hacia las materias que impartía así como el gran obstáculo y la falta de herramientas para modificar la actitud de los estudiantes hacia el trabajo científico.

Es por estas dos razones que me he animado a realizar la presente investigación, esperando que sea una herramienta valiosa que dé lugar a la posibilidad de un nueva manera de enseñar ciencias.

Todo esto sin olvidar, claro está, que este trabajo se ha realizado con la intención de obtener el título de Ingeniero Químico, licenciatura que tiene como base un amplia gama de asignaturas científicas, y que especialmente demanda el desarrollo de habilidades propias para la resolución de problemas de orden científico y tecnológico.

*El mayor reto que vivimos actualmente como humanidad es un cambio de paradigma global, que incluye un cambio radical de modelo científico sin precedentes en nuestra historia (Gallegos Nava 1999)*

## INTRODUCCIÓN

### **Planteamiento del problema**

¿Se puede conocer la realidad o solamente aproximarse a ella?, ¿Qué aportaciones ha hecho el quehacer científico al deseo humano de conocimiento?, ¿Cuáles son las fronteras de la ciencia?, ¿Qué papel ha jugado la ciencia a lo largo de la historia de las civilizaciones?, ¿Cuál ha sido el impacto de las diferentes teorías epistemológicas en la educación de la ciencia?, ¿El conocimiento es producto del descubrimiento o producto de creación humana?, ¿Es finalidad de la ciencia llegar a un conocimiento absoluto y definitivo o más bien su tarea debe centrarse en el cuestionamiento continuo de las leyes y teorías adoptadas como definitivas?, ¿Cómo se debe enseñar ciencia?, ¿Qué significa enseñar ciencia?, ¿La ciencia tiene un valor puramente práctico o puede trascender a territorios de valor estético y espiritual?, ¿Cómo desarrollar habilidades científicas en niños, jóvenes y adultos?, ¿Cómo no reprimir las habilidades innatas del ser humano para hacer ciencia?, ¿Cuáles son los factores que favorecen al proceso de enseñanza - aprendizaje de las ciencias?.

Estas son solo algunas preguntas que puede hacerse aquella persona que intente hacer un proceso de indagación sobre el quehacer científico. Sería muy ambicioso intentar responder definitiva o parcialmente a todas estas preguntas. Lo cierto es que es inevitable no caer en territorios de otra cuestión cuando se intenta responder a una sola de ellas. Sería una irresponsabilidad no reconocer su estrecha relación y querer dar respuesta a una de ellas sin esta consideración.



Quizá la primera pregunta que una persona, desde la perspectiva histórica que pueda tener en los inicios del siglo XXI, debería hacerse es: ¿Para qué hacemos ciencia? Y esto lo digo porque, si bien es indudable el valor del conocimiento científico, también es indudable que éste ha contribuido en gran medida a la destrucción del ser humano y del planeta que habita. Es bien sabido el impacto que ha tenido la ciencia en el desarrollo de tecnología armamentista y la amenaza que esto representa. Por poner un ejemplo, en su obra "El Punto Crucial" de 1982 Fritjof Capra menciona lo siguiente: *Cada año mueren de hambre más de 15 millones de personas –niños en su mayoría–; otros 500 millones padecen enfermedades causadas por la desnutrición. Aproximadamente el 40 por ciento de la población del mundo no tiene acceso a una asistencia sanitaria profesional y, a pesar de ello, los países en vías de desarrollo gastan tres veces más en armas que en sanidad. El 35 por ciento de la humanidad carece de agua potable, mientras que la mitad de los científicos e ingenieros del mundo trabajan en tecnología armamentista.*

Parece absurdo tener que aclarar después siglos de civilización, que actividades como la ciencia junto con la política, el derecho, el desarrollo tecnológico etc., deberían estar al servicio del hombre, es más, estas disciplinas como tareas humanas hechas por humanos nos harían corregir la frase y decir: el hombre debería de estar al servicio del hombre. Pero esto parece ser tema de un análisis ético y moral de las disciplinas humanas, lo cual no se pretende realizar en este trabajo.

Mas bien, con la esperanza de que se corrija el rumbo de algunos sectores del quehacer científico, de que la ciencia se retome como una disciplina que contribuya al desarrollo integral del hombre y la humanidad y reconociendo el gran valor de la ciencia como tal, me enfocaré en este trabajo a algunos aspectos del proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias, sin olvidar que es, en gran medida, en este proceso donde se sientan las bases de una conducta ética, libre y responsable frente al conocimiento.

Partiendo del hecho de que las ingenierías y en especial la ingeniería química exigen el conocimiento y dominio de una gran cantidad de conceptos científicos, los métodos de enseñanza de la ciencia son una parte esencial en la formación de ingenieros, así como el desarrollo de habilidades que demanda el mundo moderno para una mejor integración de ciencia-tecnología-sociedad. En "*Los ingenieros, la sociedad y su formación*", Armando Rugarcía afirma que el vínculo ingeniería sociedad, desde el nido universitario no se ha

establecido con pertinencia. Los proyectos de vinculación entre sociedad-universidad en el área de ingeniería, tanto en docencia como en investigación, no han sido del todo exitosos (Rugarcía, 1998a).

Frente al fracaso que ha tenido el aprendizaje significativo de las ciencias en nuestro país y en el mundo, se han desatado una serie de debates (Campanario 2000). También es notorio el impulso que ha tenido la investigación educativa reflejado en foros, publicaciones y una serie de propuestas para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias y otras áreas. ¿Quiénes son los responsables de este fracaso? La responsabilidad está repartida entre el gran número de actores que participan en la educación: profesores, alumnos, autoridades, el contexto escolar y la propia sociedad. Por lo tanto, atender el problema exige atender a todos y cada uno de los antes mencionados. Por ejemplo, existen, publicados, una gran cantidad de trabajos de investigación sobre *las ideas previas de los alumnos* y como éstas obstaculizan el aprendizaje de las ciencias; podríamos decir que, en este caso se pasa la carga de la responsabilidad a los alumnos. Pero todos estos esfuerzos pueden servir de muy poco si toda esta información no llega a manos del cuerpo docente, si no se realizan esfuerzos paralelos para crear una cultura social donde la ciencia tome su lugar y se reconozca el valor del quehacer científico.

En los últimos años ha surgido la preocupación por atender algunos aspectos en la formación de ingenieros químicos, esto se refleja en una serie de artículos publicados en revistas como Educación Química, donde se abordan problemas como: la vinculación ciencia-tecnología-sociedad, el desarrollo de habilidades y actitudes en alumnos de ingeniería, el perfil del profesor de ingeniería química, entre otros. Donde se destaca la importancia de un cambio en el modelo de formación, que implica cambios pedagógicos básicos, algunos de los cuales se abordarán más adelante.

Por otro lado, es innegable la necesidad de un cuerpo docente dispuesto a modificar esquemas, de ingenieros químicos que dediquen su actividad profesional a la educación, capaces de transmitir lo esencial, lo básico en conceptos de ciencia e ingeniería y logren que sus alumnos desarrollen las habilidades necesarias para resolver los problemas propios de nuestro tiempo.

Después de las consideraciones anteriores, probablemente la pregunta que seguiría es: ¿Cómo enseñar ciencia? Hay una cantidad considerable de tendencias y propuesta de cómo enseñar ciencia que consideran diferentes factores: concepciones epistemológicas, ideas previas, estrategias de razonamiento, estrategias metacognitivas, el papel de la historia de la ciencia en la enseñanza de ésta, la revisión de currículos etc.

En trabajos más recientes se puede notar un intento por integrar y presentar modelos que no caigan tanto en la absolutización, sino que retoman los valores de las diferentes propuestas. Desarrollar un modelo de enseñanza de las ciencias implica muchos riesgos y, el principal, es el de absolutizar dicho modelo.

El proceso de enseñanza-aprendizaje debe ser un proceso creativo, si bien puede llegar a estar muy claro cuáles son los factores que obstaculizan el proceso, es tarea de todos los actores involucrados en dicho proceso abordar de manera creativa los problemas que se vayan presentando, considerando recursos humanos, estructurales y económicos, los cuales pueden presentar una gran variación de un sector a otro de la sociedad o entre diferentes países. Por ejemplo, hay modelos que plantean la necesidad de centrar la enseñanza de las ciencias en el trabajo de investigación y de laboratorio. Si esto se llevara al extremo, necesariamente el tiempo de trabajo en el laboratorio así como los recursos invertidos en material, equipo y reactivos, tendrían que incrementarse, lo cual para algunos sectores de nuestro país es prácticamente imposible, o probablemente, haya otras prioridades.

Este trabajo no pretende presentar un modelo de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, sino identificar y estudiar una serie de factores que pueden favorecer u obstaculizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias a diferentes niveles. Será tarea de trabajos posteriores la creación e implementación de modelos y acciones concretas que respondan a las necesidades de los diferentes niveles de educación y sectores de la sociedad.

Es imposible negar que un gran número de estudiantes de nivel medio superior presentan un gran rechazo y actitudes negativas hacia materias científicas, así como ideas distorsionadas sobre la ciencia y el trabajo científico, lo cual puede traer serias consecuencias. Quizás las autoridades no han valorado la magnitud de este problema, pero mientras tan-

to la matrícula correspondiente a licenciaturas como Física y Química ha venido disminuyendo considerablemente.

El trabajo científico en un país es de vital importancia. En México el promedio de edad en científicos es de 50 años (René Drucker. En Milenio, 2002):

*Ante el envejecimiento de la comunidad científica- 50 años de edad en promedio a nivel nacional- y la falta de interés de los jóvenes por la investigación, es necesario crear "una cultura de la ciencia" desde la educación básica, para que desde niños los mexicanos se interesen por la ciencia, que es prioritaria para el futuro de la nación.*

*Para revertir la situación, se necesita además promover el estudio de carreras científicas. En la actualidad las Matemáticas, Actuaría, Física, Química y Biología son poco populares y el número de estudiantes de educación superior que han escogido éstas no llegan al 3 por ciento de casi 2 millones de alumnos en todo el país.*

*Alrededor de 60 mil jóvenes, es decir un 3 por ciento, escogieron carreras científicas, lo cual es un número bajo. Por lo tanto, el estado y las instituciones de educación superior deben fomentar el gusto por estas carreras que son las que sacarán a México del sub-desarrollo.*

*José Antonio de la Peña, presidente de la Academia Mexicana de Ciencias, afirmó que el bachillerato y las universidades están haciendo poco trabajo de atracción de jóvenes y recomendó a la Secretaría de Educación Pública (SEP) y a las autoridades universitarias intensificar la labor para mantener un equilibrio en la edad de los hombres de ciencia.*

En el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias se pueden identificar dos niveles de aprendizaje:

El *primer nivel* es el referido al proceso que lleva del conocimiento común al conocimiento científico (Cudmani, 2000). El conocimiento común, generado en la interacción con las experiencias de la vida diaria y con otros individuos, se construye con base a criterios, modos de razonar, propósitos y valoraciones que, si bien pueden ser suficientes para enfrentar las exigencias de la cotidianidad, difieren sustancialmente de la desiderata de precisión, coherencia, objetividad y sistematicidad del conocimiento científico en ciencias fácticas (Bunge, 1985). En una ocasión se preguntó en un salón de clases ¿qué sucedería si la luna se cayera? Y una pequeña contestó que absolutamente nada, puesto que la

luna gira alrededor de la Tierra y si se cayera pasaría a un lado de la Tierra sin tocarla siquiera. El razonamiento era bueno considerando que para la niña caerse es la trayectoria de un cuerpo en dirección hacia abajo y no el efecto de la fuerza de gravedad de los cuerpos.

El *segundo nivel* es el de los cambios entre distintos paradigmas científicos, alternativos o superados. En estos casos, los cambios epistemológicos, metodológicos y axiológicos concomitantes pueden, o no, ser tan significativos como en el primer nivel. En la historia de la ciencia es abundante la cantidad de casos en donde se revela la resistencia de algunos sectores de la comunidad científica y de la sociedad a la aceptación de nuevas teorías y leyes. Un ejemplo clásico de esto es el paso de la mecánica clásica a la mecánica cuántica. Max Planck, premio Nobel de física en 1918, dijo: "Una nueva verdad científica en general no se impone porque sus adversarios se convencen y se declaran convertidos, sino porque los adversarios mueren y la generación sucesiva ya tiene confianza en la verdad".

Es muy probable que la educación juegue un papel importante para formar seres con una capacidad mayor de adaptación al cambio y que sepan analizar y reconocer los valores de los nuevos paradigmas científicos.

Dentro de estos dos niveles hay factores que obstaculizan el aprendizaje y otros que lo favorecen. Este trabajo pretende analizar estos factores y aportar algunas ideas y herramientas para mermar el impacto de aquellos que obstaculizan el aprendizaje significativo de las ciencias, y para darle espacio, y no bloquear, aquellos factores que estimulan y favorecen el aprendizaje científico.

## **OBJETIVO**

Identificar y analizar los principales factores que obstaculizan y favorecen el aprendizaje significativo de las ciencias dentro de dos niveles de aprendizaje:

**1º Nivel;** del conocimiento común al conocimiento científico

**2º Nivel;** el cambio entre distintos paradigmas científicos, alternativos o superados.

Con la finalidad de que la identificación de estos factores, muchos de ellos desconocidos o menospreciados por profesores y alumnos, sean reconocidos y valorados como un aspecto importante dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Factores que, si son reconocidos como una herramienta para la enseñanza, pueden modificar algunas actitudes negativas de los estudiantes hacia materias científicas, y generar ideas más acertadas, en profesores y alumnos, sobre el quehacer científico.

Para alcanzar este objetivo será necesario hacer una revisión histórica muy general de epistemología científica y algunas repercusiones de ésta en la enseñanza de las ciencias para ubicar el contexto histórico en el que nos encontramos actualmente y presentar las principales tendencias contemporáneas. Por otro lado será necesario, también, profundizar en la naturaleza de cada uno de los niveles de aprendizaje antes mencionados

**CAPITULO I**  
**ANTECEDENTES**

## **1.1 Los Elementos del Conocimiento.**

El conocimiento humano consta de cuatro elementos: el sujeto cognoscitivo, el objeto conocido, la operación cognoscitiva y el pensamiento o huella que permanece en la mente y en la memoria del sujeto (Gutiérrez, 1989)

El *sujeto* es la persona que conoce, capta algún aspecto de la realidad y obtiene así algún pensamiento referente a ese aspecto captado. En nuestro caso particular el principal sujeto que nos interesa es el científico.

El *objeto* es la cosa o persona conocida. El sujeto y el objeto forman una cierta polaridad u oposición, típica en el acto de conocer. El sujeto conoce al objeto.

En esta correlación entre sujeto y objeto, el primero sufre una modificación durante el acto de conocimiento. En cambio, ordinariamente el objeto queda tal cual; sin embargo existen algunas excepciones, pues sabemos que una persona que se siente observada, modifica su conducta por este solo hecho. Asimismo en el nivel de las partículas elementales de la materia, la observación del científico interfiere en el movimiento y la situación de lo observado. En física atómica, no podemos hablar de las propiedades de un objeto como tal, pues son solo significativas en el contexto de la interacción del objeto con el observador. En palabras de Heisenberg: "*lo que nosotros observamos no es la naturaleza misma, sino la naturaleza expuesta a nuestro método de interrogación*" (citado en Capra, 2000).

La *Operación Cognoscitiva* es un proceso necesario para que el sujeto se ponga en contacto con el objeto y pueda obtener algún pensamiento acerca de dicho objeto. Nótese que no es lo mismo el acto de ver que la imagen obtenida con ese acto. La operación cognoscitiva dura un momento; en cambio el pensamiento obtenido permanece en la memoria del sujeto.

El *pensamiento* es la expresión mental del objeto conocido. Cada vez que se conoce algo queda una huella interna en el sujeto, en su memoria, y consiste en una serie de pensamientos, que en cierto modo nos recuerda al objeto conocido. La ciencia es un



conjunto de pensamientos que llenan ciertos requisitos. En parte el método científico procura una adecuada elaboración de esos pensamientos.

Es importante marcar ciertas diferencias entre la operación cognoscitiva y el pensamiento:

- a) La operación cognoscitiva es una actividad mental, y el pensamiento es el resultado de esa actividad.
- b) La operación es momentánea, y el pensamiento perdura de algún modo en las facultades del sujeto.
- c) La operación se expresa mejor con un verbo, como ver oír, intuir, juzgar, razonar. En cambio el pensamiento se expresa mejor con un sustantivo, como imagen, idea, juicio, argumentación.

El conocimiento abarca, pues, los cuatro elementos aún cuando en algunas ocasiones la palabra "conocimiento" se refiere solo a ese elemento que hemos llamado pensamiento. La definición del conocimiento se puede expresar así (Gutiérrez, 1989): *"Es la operación por la cual un sujeto obtiene expresiones mentales de un objeto"*.

Para los fines de este trabajo se delimitarán los cuatro elementos cognoscitivos en relación con la ciencia:

- a) El sujeto del conocimiento es el científico o estudiante de ciencias.
- b) El objeto de conocimiento es todo aquello que pueda ser objeto de la ciencia. Naturalmente los objetos que son susceptibles de estudiarse en una ciencia han sido clasificados y colocados en diferentes grupos o categorías a fin de ser estudiados en alguna ciencia determinada. Las ciencias se distinguen precisamente por su objeto.
- c) Los pensamientos pueden ser de varios tipos: ideas, juicios, conceptos, raciocinios. Cuando una serie de estos pensamientos está estructurada convenientemente la llamamos ciencia.
- d) La operación cognoscitiva es la que produce pensamientos con categoría científica. Esto es lo que intenta el método científico.

El científico es, pues, la persona que conoce la realidad de un modo estructurado, con una certeza fundamentada; verifica sus afirmaciones acerca de la realidad y aplica sus facultades cognitivas hacia el descubrimiento y la sistematización de nuevas verdades acerca de la realidad que investiga (Gutiérrez, 1989).

## **1.2 El Pensamiento Cotidiano y el Pensamiento Científico**

La elaboración de pensamientos a partir de la experiencia cotidiana, del contacto con las cosas, las personas, fenómenos naturales etc., es un proceso natural, sencillo y espontáneo. Además tiene un gran valor práctico, sirve para relacionarse con la gente, satisfacer necesidades vitales y en gran medida para explicarse e interpretar la realidad, aunque esta interpretación no sea necesariamente correcta.

La mayor parte de las personas conoce y piensa de la manera que hemos indicado y en verdad no habría razón para vislumbrar y describir otro tipo de pensamiento, si no fuera por que la vida misma se ha encargado de plantear ciertos problemas que ordinariamente no tienen solución si no se aplican algunos conceptos, formulas argumentos, hipótesis, principios, leyes o teorías, que son los elementos básicos de ese nivel superior de pensamiento que se denomina *ciencia* (Gutiérrez, 1989).

Lo anterior nos lleva a un cuestionamiento sobre cuál es la frontera entre el pensamiento cotidiano y el pensamiento científico. ¿qué es lo propio de un pensamiento científico?. Para responder a esta pregunta sería conveniente hacer una revisión histórica sobre como ha evolucionado el pensamiento científico y las concepciones epistemológicas, principalmente en el siglo XX, lo cual se desarrolla en el capítulo II. Sin embargo, para tener una base se dará una respuesta concreta e este cuestionamiento. Cabe mencionar que esta es una respuesta parcial que se ira completando a lo largo de los próximos capítulos.

### **1.3 Algunas consideraciones sobre lo propio del pensamiento científico**

A la ciencia no le interesa exclusivamente la simple descripción de hechos. El científico se preocupa por conectar hechos entre sí. El resultado de esta captación de relaciones entre fenómenos es una ley. La ley científica consiste en la expresión de una relación constante entre fenómenos.

La ciencia también está compuesta de otros elementos descriptivos que no son leyes. Así es como contiene igualmente definiciones, teoremas, hipótesis, demostraciones, etc. Sin embargo, lo central en la ciencia es su conjunto de leyes, que se refiere al comportamiento de los fenómenos propios de su campo.

La palabra *paradigma* significa modelo. La ciencia nos proporciona el modelo que sirve como ejemplo al cual deben adecuarse las cosas estudiadas, sea que se consideren estática o dinámicamente en su constitutivo permanente, o en su devenir a través del tiempo. Gracias a las leyes científicas conocemos el comportamiento al cual se deben ajustar los cambios, las interacciones y la evolución en general, de los objetos que se estudian.

El paradigma o modelo científico es aplicable de una manera universal, es decir, no se concreta a uno o varios casos, sino que es válido para todos los casos singulares designados en sus leyes y principios. Lo que diga el científico acerca de ese modelo tiene un fundamento racional garantizado por el método utilizado (Gutiérrez, 1989).

El modelo es aplicable a las cosas, a todas las cosas pertenecientes a esa especie, pero esto no es obstáculo para que, de hecho, se encuentren algunas excepciones. En algunos casos el científico se verá obligado a modificar su modelo conceptual, pues la ciencia es una construcción humana cuya característica paradigmática proporciona al científico la oportunidad de hablar y predecir acerca de las cosas, a partir de las cuales extrajo los datos para la construcción de su modelo.

El elemento básico que constituye la ciencia es el concepto, con el cual se forman los teoremas, las leyes, los principios y demás elementos que, sistematizados, dan lugar a una ciencia.

El hombre es capaz de trascender el conocimiento de lo singular y sensible y llegar hasta el conocimiento de lo universal, gracias al concepto elaborado por la razón. A la ciencia no le interesa este pedazo de azufre, sino el comportamiento de todo azufre como tal, "el azufre tiene símbolo S y valencia 2". El concepto, aunque esté en forma singular, se refiere a la totalidad del objeto expresado.

La calidad de paradigma en una ciencia tiene su base en el concepto y en su universalidad. Pero la ciencia no es un paradigma común y corriente, sino que exige un cierto rigor para que una supuesta ley pueda ingresar al nivel científico. La fundamentación es la cualidad específica que logra elevar una afirmación cualquiera al rango de ciencia (Gutiérrez, 1989).

La ciencia busca continuamente la demostración, el argumento, las razones, las causas, las pruebas de que lo asentado por ella corresponde con la realidad. Este es el trabajo más importante de toda persona que ingresa en el ámbito de lo científico. El científico honesto no se atreve a enunciar una ley o un principio, sino que habla de meras hipótesis, con lo cual está sugiriendo la pretensión de universalidad, pero que aún no ha sido suficientemente fundamentada. El método científico es, justamente, el instrumento utilizado para comprobar si una hipótesis dada merece el rango de ley.

Ahora bien las leyes científicas, supuestamente comprobadas, fundamentadas y corroboradas, que además gozan de una general aceptación, no por ello se convierten en leyes absolutas, inmutables y eternas, aun cuando así se haya pretendido en ciertas épocas. Un científico sabio está siempre dispuesto a la corrección, la evolución e inclusive la retractación, con respecto a sus afirmaciones previas (Gutiérrez, 1989).

La ciencia no es un conocimiento secreto, oculto o reservado para unos cuantos. La ciencia es un conocimiento abierto para todo público, disponible para cualquier persona que tenga las cualidades necesarias para entenderlo y escudriñarlo. Por lo tanto, la ciencia es un conocimiento verificable, no solamente verdadero, sino que, además, su verdad ha sido comprobada y está siempre en disposición de ser nuevamente comprobada cuantas veces sea requerido.

Dentro de los procedimientos más utilizados para la verificación de un conocimiento científico, se encuentran: la observación, la experimentación, la intuición y el raciocinio intelectual.

En cuanto a su resultado la ciencia es un conocimiento sistemático, con esto se quiere decir que no se trata de una simple acumulación de datos, sino que es *un conjunto ordenado de elementos que guardan relaciones explícitas entre sí, conforme a criterios fundamentados*. Por otro lado, en cuanto a su elaboración, la ciencia es un conocimiento metódico, y con esto se hace referencia al procedimiento para elaborar la ciencia, gracias al cual resulta un conocimiento sistemático, y además, fundamentado.

Gracias a su método la ciencia ofrece una garantía de verdad. Así pues, la ciencia es un conocimiento cierto. La palabra *certeza* significa *la firme adhesión de la mente a la verdad* (Gutiérrez, 1989). Consiste en afirmar algo sin temor a equivocarse. La evidencia de una proposición es el fruto conseguido por el método. La evidencia de una proposición es, pues, el fundamento que otorga certeza al sujeto que la sostiene.

Es importante aclarar que la evidencia solamente es garantía de verdad si se toman en cuenta los límites en los que se da, y se mantiene uno dentro de esos límites. Así es como las leyes clásicas de la física newtoniana han resultado válidas solamente dentro de los límites de una observación ordinaria, no así en un mundo de dimensiones microscópicas, ni tampoco cuando se trata de dimensiones altamente macroscópicas.

## **CAPITULO II**

### **Breve Revisión Histórica del Pensamiento Científico**

## 2.1 La revolución científica (1543-1687)

En la actualidad se acostumbra denominar como periodo de la “revolución científica” al periodo de tiempo que transcurrió, aproximadamente, entre la fecha de publicación del *De Revolutionibus* de Nicolás Copérnico, en 1543, hasta la obra de Isaac Newton, cuyos *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* fueron publicados por primera vez en 1687. Esto no quiere decir que se olviden otros periodos de la historia de las ciencias que fueron realmente revolucionarios y que han sido tratados en obras tales como “*La Estructura de las Revoluciones Científicas*” de T.S. Kuhn, sino que podríamos considerar a ésta como la primera gran revolución científica de la historia. A continuación se intentará justificar esto.

Durante este periodo (Copérnico-Newton) se modifica la imagen del mundo. Entrelazado con dicha mutación se encuentra el cambio de las ideas sobre el hombre, sobre la ciencia, sobre el hombre de ciencia, sobre el trabajo científico y las instituciones científicas, sobre las relaciones entre ciencia y sociedad, sobre las relaciones entre ciencia y filosofía y entre saber científico y fe religiosa (Reale, 1988. II).

Copérnico desplaza la Tierra del centro del universo, con lo que también quita de allí al hombre. Esto trae una abrumadora serie de cuestionamientos de orden teológico, lo cual tiene un fuerte impacto en las estructuras de pensamiento de la época. ¿Dónde quedó el centro del universo creado por Dios en función del hombre?.

La revolución científica, al mismo tiempo, constituye una revolución en la noción de saber, de ciencia. La ciencia se independiza y surge como una tarea de indagación, más que como una verdad filosófica o proposición de fe, carácter que había tomado a lo largo de la historia precedente.

Con la revolución científica se abrieron camino las categorías, los métodos, las instituciones, los modos de pensar y las valoraciones que se relacionan con aquel fenómeno que, después de la revolución científica, acostumbramos a denominar ciencia moderna (Reale, 1988. II citando a Paulo Rossi). Uno de los rasgos fundamentales de la ciencia moderna es su método. Se trata de una noción de ciencia regulada metodológicamente y públicamente controlable, lo cual exige nuevas instituciones científicas: academias, laboratorios, contactos internacionales.

En su obra "La Estructura de las Revoluciones Científicas" T.S. Kuhn (1962) menciona que *la ciencia normal significa investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas pasadas, realizaciones que alguna comunidad científica particular reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento para su práctica posterior.*

No fijemos la atención, por el momento, en el concepto de *ciencia normal*, que será retomado más adelante, sino que valdría la pena resaltar el aspecto de *comunidad científica*. La ciencia moderna y su método se consolidan gracias a que son reconocidas por una comunidad y es regulada y controlada por ésta.

En cuanto a la concepción de la ciencia, la revolución científica provoca un rechazo a la concepción aristotélica que pretendía ser un saber de esencias o sustancias de las cosas y de los fenómenos, una ciencia elaborada con teorías y conceptos definitivos. La ciencia galileana y postgalileana ya no indagará sobre la sustancia, sino sobre la función. Ya no se trata de qué sino de cómo. La ciencia se ocupa, entonces, de las cualidades de las cosas y fenómenos que resultan públicamente controlables y cuantificables (Reale, 1988. II).

*"El escudriñar la esencia, lo tengo por empresa no menos imposible y por tarea no menos vana en las substancias elementales próximas, que en las remotísimas celestiales: y me parece que ignoro por igual la substancia de la Tierra y de la Luna, la de las nubes elementales como la de las manchas del Sol. Empero, aunque sea inútil pretender investigar la substancia de las manchas solares, ello no impide que nosotros podamos aprehender algunas de sus afecciones, como el lugar, el movimiento, la figura, la magnitud, la opacidad, la mutabilidad, la producción y la desaparición". Galileo (Citado en Reale, 1988)*

Lo anterior no quiere decir que la revolución científica carezca de supuestos filosóficos y esté desvinculada del pasado. Hay referencias importantes a Arquímedes y Galeno; la obra de Copérnico, Kepler o Harvey retoman la mística hermética o neoplatónica con respecto al sol. Está presente el gran tema neoplatónico del Dios que hace geometría y que al crear el mundo le imprime un orden matemático y geométrico que el investigador debe descubrir. Y, por otro lado, la tradición hermética, que poseía como principios fundamentales el paralelismo entre microcosmos y macrocosmos, la simpatía cósmica y la noción de universo como ser viviente.



Todo esto implica, que la ciencia moderna, autónoma con respecto a la fe, con controles públicos, regulada mediante un método, perfectible y progresiva, con un lenguaje específico y claro, y con sus instituciones típicas, es de veras la consecuencia de un proceso largo e intrincado, en el que se entrelaza la mística neoplatónica, la tradición hermética, la magia, la alquimia y la astrología (Reale, 1988. II)

El hombre de ciencia, el *científico*, cobra una nueva dimensión. A diferencia del saber precedente, el medieval, el nuevo saber reúne teoría y práctica, ciencia y técnica, dando origen así a un nuevo tipo de sabio muy distinto al filósofo medieval, al humanista, al mago, al astrólogo o incluso al artesano o artista del renacimiento. Este nuevo tipo de sabio, ya no es el mago o el astrólogo poseedor de un saber privado y para iniciados, ni tampoco el profesor universitario que comenta e interpreta los textos del pasado, sino el científico que crea una nueva forma de saber, público, controlable y progresivo. La revolución científica crea al científico experimental moderno, su conocimiento necesita un control continuo que proceda de la praxis, de la experiencia. Necesita, pues, del experimento, que cada vez se vuelve más riguroso gracias al empleo de nuevos instrumentos de medida cada vez más exactos.

No podemos olvidar que el nacimiento de la ciencia moderna fue precedido y acompañado por una evolución del pensamiento filosófico, que llevó a una formulación extrema del dualismo espíritu-materia. Esta formulación apareció en la filosofía de René Descartes, quien basó su visión de la naturaleza en una división fundamental, en dos reinos separados e independientes: el de la mente y el de la materia. Esta división cartesiana permitió a los científicos tratar a la materia como algo muerto y totalmente separado de ellos mismos, considerando al mundo material como una multitud de objetos diferentes, ensamblados entre sí para formar una máquina enorme.

Esta visión mecanicista del mundo la mantuvo también Isaac Newton, quien construyó su mecánica sobre esta base y la convirtió en los cimientos de la física clásica. Desde la segunda mitad del siglo XVII hasta finales del siglo XIX, el modelo mecanicista newtoniano del universo dominará todo el pensamiento científico (Capra, 2000)

Uno de los mayores promotores de esta visión mecanicista fue Francis Bacon. Su objetivo consistió en establecer el poder y el dominio de la raza humana sobre el universo, postuló

a la ciencia como el único conocimiento válido y la vía a través de la cual el hombre podría encontrar su plena realización. Desarrollo el *empirismo* como núcleo de la ciencia, según el cual sólo el conocimiento con referente empírico es válido y confiable (Gallegos, 1999).

Isaac Newton (1642-1727), fue el científico que llevó a su culminación la revolución científica, y con su sistema del mundo se configuró la física clásica. *La publicación de los Philosophiae Naturalis Principia Mathematica fue uno de los acontecimientos más importantes de toda la historia de la física. Este libro puede ser considerado como la culminación de miles de años de esfuerzo por comprender la dinámica del universo, los principios de la fuerza y del movimiento, y la física de los cuerpos en movimiento en medios distintos* (Cohen, 1983).

La mecánica de Newton ha sido uno de los más poderosos y fecundos paradigmas o programas de investigación de la historia de la ciencia: después de Newton, para la comunidad científica todos los fenómenos de orden físico deben ser referidos a las masas que obedecen a la ley del movimiento de Newton (Einstein, 1984)

La concepción de la gran máquina del mundo de Newton avanzará durante mucho tiempo, hasta que se encuentre con problemas que para ser solucionados, exigirán un cambio radical de las ideas fundamentales de la ciencia newtoniana.

## **2.2 El desarrollo de las ciencias en el siglo XIX**

De vez en cuando, a lo largo de la historia de las ideas, se establece una estrecha vinculación entre ideas filosóficas y teorías científicas. Esto obliga a esbozar los rasgos de la evolución de algunas teorías científicas del siglo XIX que –afectando de lleno a problemáticas filosóficas, por ejemplo: la imagen del hombre, el libre arbitrio, la imagen del mundo o la idea misma de verdad- hicieron que los filósofos, incluso los más distantes de la mentalidad y de las preocupaciones de la investigación científica, afrontasen el desarrollo de la ciencia (Reale, 1988. III).

Una de las ideas más arraigadas, la idea según la cual los axiomas de la geometría euclidiana son verdades evidentes, incontrovertibles y verdaderas, es fuertemente cuestionada. El desarrollo de geometrías no euclidianas muestra que lo que se consideraba algo eterno se reducía a meras convenciones. Esto constituye un ejemplo típico de cómo determinados resultados técnicos, obtenidos en el seno de la disciplina científica, pueden llegar a conmocionar teorías filosóficas como la del conocimiento.

La física del siglo XIX lleva a su apogeo la imagen (filosófica) mecanicista del universo, para crear más tarde, aquellos datos y aquellos supuestos que provocarán la crisis irreversible de tal imagen. Por otro lado, no debemos olvidar la gran cantidad de resultados técnicos que obtienen no sólo la matemática y la física sino también las demás ciencias. Tal es el caso de la química, basta recordar los nombres de: Cannizzaro, Berzelius, Wöhler, Arrhenius, Liebig, Kekulé, Mendeléiev, etc. La microbiología, que vence las enfermedades infecciosas, y la aplicación práctica de los conocimientos acerca de la electricidad, por mencionar algunos ejemplos, transforman la vida del hombre.

Es importante destacar la estrecha relación que existe, durante el siglo XIX, entre ciencia y sociedad, a través del desarrollo tecnológico. En el siglo XIX existe un fuerte vínculo entre sociedad industrial y desarrollo del saber, producto, en gran medida, de la revolución industrial y de la renovación de la enseñanza vinculada con ésta. Como ejemplos podemos mencionar al Colegio Politécnico (École Polytechnique) creado por la revolución francesa, o la reforma que se produjo en los centros alemanes de segunda enseñanza, y no exclusivamente en ciertos institutos universitarios como los de Giessen, Dresde, Múnich, etc., donde surgieron escuelas politécnicas inspiradas en el modelo francés.

Sin embargo, no debemos caer en el error propio de aquella interpretación sociologista que, basándose en las evidentes relaciones que se dan entre ciencia e industria, asevera que la sociedad industrial permitirá exclusivamente el desarrollo de las disciplinas útiles desde el punto de vista de la industria. Buena parte de la matemática, la geometría no euclidiana, la teoría de la evolución o la astrofísica no nacieron porque sirviesen a la industria o a éste o aquel poder (Reale, 1988. III)

En los principios del siglo XIX, la especialización se hallaba en sus comienzos; ejemplo de esto son personalidades como Volta, que no sólo estudió la electricidad, sino también el

calor, la química la meteorología y otros temas. Y Young, quien antes que nada era un medico empírico y un experto en problemas biológicos, había estudiado otras ramas de la física antes que la óptica.

Pero en el ámbito de la mecánica se comienza a notar un desarrollo más significativo que en otras tareas científicas. La mecánica clásica llega a su grado más alto durante la primera mitad del XIX, gracias a una aplicación cada vez más profunda de la matemática.

La mecánica alcanzó una precisión y una profundidad tan notables que su función fue central dentro de la física y de las ciencias en general. Prácticamente ningún científico ponía en duda el hecho de que todos los fenómenos naturales, físicos, químicos, biológicos etc., podían explicarse a través de la mecánica clásica. El éxito que tuvo ésta hizo que los científicos la extendieran y aplicaran a otros campos de investigación, como al movimiento de los fluidos, a la vibración de cuerpos elásticos y al estudio del calor, y una vez más funcionó. Así fue como la mecánica de Newton se convirtió en la teoría definitiva, que explicaba todos los fenómenos naturales. Y, sin embargo, apenas cien años más tarde era descubierta una nueva realidad que pondría de manifiesto las limitaciones del modelo newtoniano, demostrando que ninguna de sus características tenía validez absoluta.

Así pues, el mecanicismo determinista se convirtió en la base del programa de investigación para los científicos. La cantidad de investigación que se hace durante el siglo XIX es enorme, aparecen figuras como Fourier, Joule, Kelvin, Gibbs, por mencionar algunas, cuyos trabajos y descubrimientos fueron fundamentales en el desarrollo de la ciencia, muchos de ellos dando pie a las grandes revoluciones científicas del siglo XX. Se desarrolla el fundamento teórico del problema de la energía, los principios de la termodinámica y el concepto de entropía, hay grandes avances en electrostática y electrodinámica, con personajes como Volta, Ohm y Faraday. Maxwell y sus estudios de electromagnetismo, junto con Faraday, ponen los cimientos de una nueva concepción de la realidad física al reemplazar el concepto de fuerza por el de campo de fuerza.

Maxwell comenzó a encontrar dificultades para interpretar sus resultados desde la mecánica newtoniana, sin embargo así lo hizo; tomó a los campos como formas de fuerza mecánica que se daban dentro de un ligerísimo medio que llenaba el espacio, llamado éter, y a las ondas electromagnéticas como ondas elásticas de este éter. Maxwell utilizó varias interpretaciones mecánicas de su teoría, aunque aparentemente no tomó ninguna de ellas

realmente en serio. Debió percibir intuitivamente, incluso aunque nunca lo dijese de modo explícito, que las entidades fundamentales de su teoría eran los campos y no los modelos mecánicos. Cincuenta años más tarde, fue Einstein quien reconoció con claridad este hecho, declarando que no existe ningún éter y que los campos electromagnéticos son entidades físicas por derecho propio, que pueden viajar a través del espacio vacío y no pueden ser explicados mecánicamente (Capra, 2000).

Así, a comienzos del siglo XX, los físicos tenían a su disposición dos exitosas teorías que aplicaron a diferentes fenómenos: la mecánica de Newton y la electrodinámica de Maxwell. De este modo, el modelo Newtoniano había dejado ya de ser el gran paradigma científico, existían las condiciones precisas para un nuevo periodo de ciencia normal (en el sentido de Kuhn).

## **2.3 Teorías epistemológicas en el siglo XX**

### **2.3.1 Neopositivismo**

Uno de los problemas presentes desde sus orígenes en la historia de la filosofía ha sido la fundamentación del saber o, dicho en otras palabras, del conocimiento científico (Mellado, 1993).

En la filosofía clásica, si exceptuamos a corrientes escépticas que van desde Pirrón de Elis, en la época helenística, hasta diversos autores en épocas más modernas, se van decantando dos grandes corrientes que se explicitan en los siglos XVII y XVIII, en las escuelas racionalista y empirista.

Los empiristas que arrancan con la figura de Bacon y continúan con Hobbes, Hume y Locke, ponen el acento en la justificación del conocimiento a partir de los datos suministrados a partir de la experiencia sensible y tratan de establecer un método científico, inductivo y riguroso, apoyado en los datos de esta experiencia.

Esta corriente empirista ha tenido un importante papel en los primeros años del siglo XX, en el llamado Círculo de Viena (el *Wiener Kreis*). El pensamiento de los miembros del círculo se conoce con el nombre de "neopositivismo" o "positivismo lógico" y se caracteriza por una actitud decididamente antimetafísica y por toda una serie de profundos análisis de gran relevancia acerca del lenguaje, la estructura y los métodos de las ciencias naturales, y los fundamentos de la matemática. El núcleo de fondo de la filosofía vienesa es el "principio de verificación" según el cual, a semejanza de la concepción de Bacon, sólo tienen sentido las proposiciones que se pueden verificar empíricamente a través de los hechos de experiencia (Reale 1988. III).

No demasiado alejado de los núcleos centrales del neopositivismo se encuentra –siempre en el periodo entre las dos grandes guerras mundiales- el "operacionismo" del físico estadounidense Percy William Bridgma, que sostenía que el significado de los conceptos científicos se reducía a un conjunto de operaciones. Por esos mismos años, el francés Gastón Bachelard elaboraba una filosofía no positiva de la ciencia, cuyo influjo se ha podido comprobar con el paso de los años y cuyas ideas -por ejemplo, la de "ruptura epistemológica" o de "obstáculo epistemológico", y sobre todo su consideración de la historia de la ciencia como instrumento primordial para el análisis de la racionalidad- se han revelado cada vez más importantes en nuestros días.

Algunos de los representantes más importantes del "Círculo de Viena", el cual comienza con pequeñas reuniones en un café de la Viena antigua, son: Moritz Schlick quien fue llamado, en 1922, desde Kiel a la universidad de Viena, para encargarse de la cátedra de Filosofía de la ciencias inductivas; el matemático Hans Hahn; el sociólogo y economista Otto Neurath y su esposa Olga (hermana de Hahn y también matemática y lógica); el entonces profesor de filosofía del derecho Felix Kaufmann; un historiador e interesado por la metodología científica Victor Kraft y el matemático Kurt Reidemeister. En 1926 también R. Carnap fue llamado a la universidad de Viena.

En 1929 se publicó, firmado por Neurath, Hahn y Carnap, el "manifiesto" del Círculo Vienés: *La concepción científica del mundo*. Las líneas esenciales del programa neopositivista, expuestas en el escrito, eran las siguientes:

- 1) La constitución de una ciencia unificada, que abarcara todos los conocimientos proporcionados por la física, las ciencias naturales, la psicología, etc.
- 2) El medio para lograr dicho propósito debía consistir en el uso del método de análisis lógico elaborado por Peano, Frege, Whitehead y Russell.
- 3) Los resultados de la aplicación de este método al material de las ciencias empíricas permitirían augurar:
  - a) La eliminación de la metafísica.
  - b) Una clarificación de los conceptos y las teorías de la ciencia empírica, así como de los fundamentos de la matemática.

En Viena, gracias a la labor del Círculo, se consolidó decisivamente la filosofía de la ciencia, entendida en la manera moderna, como disciplina autónoma que se propone la explicitación consciente y sistemática del método y de las condiciones de validez de las aserciones efectuadas por los científicos (Reale, 1988. III).

Como ya se mencionó anteriormente, el "principio de verificación" es central en el pensamiento de los representantes del Círculo, quienes habían leído y comentado a Ludwig Wittgenstein. Wittgenstein había escrito que *comprender una proposición quiere decir saber como están las cosas en el caso de que sea verdad*. Para Schlick esto quería decir que *el significado de una proposición es el método de su verificación* y añade el criterio de verdad o falsedad de una proposición *consiste en el hecho de que, bajo determinadas condiciones, algunos acontecimientos se produzcan o no. Si se ha establecido tal cosa, se ha establecido todo aquello de lo cual se habla en la proposición, y gracias a ello se conoce su sentido* (citado en Reale, 1988. III) Por lo tanto la experiencia cobra vital importancia. Esta es la misma línea que seguía Carnap, para quien no había otra fuente de conocimiento que no fuera la experiencia.

El principio de verificación se vio muy pronto sujeto críticas muy severas. Muchos lo consideraron como un principio metafísico, que en nombre de la ciencia condenaba a priori el sentido de cualquier otro discurso. En efecto, el principio de verificación (por lo menos, tal como había sido formulado en los primeros tiempos del Círculo) es incapaz de dar razón de la ciencia por dos motivos fundamentales: en primer lugar las afirmaciones protocolarias no son en absoluto incontrovertibles, y además una serie de observaciones análogas y reiteradas, por numerosas que sean, no logran fundamentar lógicamente las leyes uni-

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

versales de la ciencia. Por todo ello, en *Controlabilidad y significado* (1936), Carnap no habla de verificabilidad sino de "controlabilidad" y de "conformabilidad". *Diremos que una proposición es controlable si es que, de hecho, conocemos un método para proceder a su eventual confirmación; en cambio, diremos que es confirmable cuando sepamos bajo qué condiciones queda confirmada por principio* (Reale, 1988. III).

### **2.3.2 Operacionismo (operativismo)**

La teoría o imagen de la ciencia que recibió este nombre, se debe al físico (y premio Nobel) estadounidense Percy William Bridgman (1882-1961), que la expuso mediante dos volúmenes (*La lógica de la física moderna*, 1927, y *la naturaleza de la teoría física*, 1936).

Ante los revolucionarios avances de la física contemporánea, Bridgman —en *La lógica de la física moderna*— sostiene que *la actitud del físico debe ser una actitud de puro empirismo. No debe admitir ningún principio a priori que determine o limite las posibilidades de nuevas experiencias. La experiencia sólo está determinada por la experiencia. Esto significa prácticamente que debemos renunciar a la pretensión de abarcar toda la naturaleza en una sola fórmula, sencilla o complicada* (citado en Reale, 1988. III)

Para Bridgman la crítica epistemológica es una actividad, que él se vio casi obligado a practicar, impulsado por los muchos fracasos que las teorías formuladas encuentran al enfrentarse con situaciones reales. El método propuesto por Bridgman, traducir conceptos en operaciones, *se fundamenta en el convencimiento de que el aspecto más importante de una teoría es lo que esta realiza efectivamente, no lo que dice que hace ni lo que su autor considera que hace, cosas todas ellas que a menudo resultan muy distintas.* Una inmediata consecuencia, es que cuando se ha adoptado el punto de vista operativo, toda una serie de problemas y de conceptos aparecen como carentes de significado. *Si una cuestión específica tiene sentido, debe ser posible hallar operaciones mediante las cuales se le puede dar respuesta. En muchos casos se verá que tales operaciones no pueden existir y que por lo tanto la cuestión no tiene sentido.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Esto fue un punto muy debatido de la epistemología operacionista; cuando se afirma que un concepto es equivalente al grupo de operaciones que le corresponde, hay que ser consecuentes en el sentido de que, si tenemos más de un grupo de operaciones, tendremos más de un concepto y en rigor deberíamos darle un nombre distinto a cada grupo diferente de operaciones. Lo cual destruiría uno de los principales objetivos de la ciencia: el logro de una explicación sencilla y sistemáticamente unificada de los fenómenos empíricos.

### **2.3.3 Epistemología de Gaston Bachelard (1884-1962)**

Las obras epistemológicas de Bachelard (*El pluralismo coherente de la química moderna*, 1932; *Las intuiciones atomistas; ensayo de clasificación*, 1933; *El nuevo espíritu científico*, 1934; *La dialéctica de la duración*, 1936; *La formación del espíritu científico: contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*, 1938; *La filosofía del no*, 1940) aparecen en un periodo en el que la filosofía de la ciencia, neopositivismo y operacionismo se presentan, por un lado como una concepción antimetafísica y, por el otro, como esencialmente ahistórica. Así pues, el pensamiento filosófico de Bachelard llega cargado de novedades y supera la filosofía oficial de la ciencia de su tiempo y propone un *no positivismo radical y deliberado* (Copleston, 1983).

Los rasgos de fondo del pensamiento de Bachelard pueden reducirse a los cuatro siguientes:

- 1) El filósofo debe ser contemporáneo de la ciencia de su propia época.
- 2) Tanto el empirismo de tradición baconiana como el racionalismo idealista son incapaces de explicar la real y efectiva práctica científica.
- 3) La ciencia es un acontecimiento esencialmente histórico
- 4) La ciencia posee un *ineludible carácter social*.

Para Bachelard la ciencia no tiene la filosofía que se merece. La filosofía siempre va retrasada con respecto a los cambios en el saber científico. La filosofía de los filósofos se caracteriza por atributos como la unidad, la clausura y la inmovilidad, mientras que los

rasgos distintivos de la "filosofía científica" son la falta de una unidad o de un centro, la apertura y la historicidad (Reale, 1988. III).

Los neopositivistas iban en busca de un principio rígido (el principio de verificación) que dividiese nitidamente la ciencia y la no-ciencia, mientras que Bachelard no acepta un criterio a priori que se jacte de captar la esencia de la científicidad. No es la razón filosófica la que enseña a la ciencia sino que es "la ciencia la que instruye a la razón". Bachelard, a diferencia de los neopositivistas, no rechaza la historia. En *El nuevo espíritu científico* escribe, "el espíritu posee una estructura variable puesto que el conocimiento tiene una historia". Y si el conocimiento tiene una historia, entonces el instrumento privilegiado para las investigaciones de filosofía de la ciencia no es la lógica, sino la historia de la ciencia, concebida como identificación de las fases efectivamente atravesadas por el desarrollo del saber científico. Por otro lado, Bachelard no abriga prejuicios antifilosóficos y antimetafísicos, en palabras de él "un poco de metafísica nos aleja de la naturaleza, mucha metafísica nos acerca a ella".

Para Bachelard *el conocimiento vulgar tiene siempre más respuestas que preguntas. Tiene respuestas para todo. En cambio el espíritu científico nos prohíbe tener opiniones sobre cuestiones que no comprendamos, sobre cuestiones que no sepamos formular claramente. Antes que nada es preciso saber plantear el problema.* El conocimiento vulgar está formado por respuestas, mientras que el conocimiento científico vive agitado por los problemas.

Bachelard afirma en "El nuevo espíritu científico" que: *el espíritu científico es esencialmente una rectificación del saber, una ampliación de los esquemas del conocimiento. Éste juzga su pasado histórico, condenándolo. Su estructura es la conciencia de sus históricos errores. Desde el punto de vista científico, lo verdadero es pensado en cuanto rectificación histórica de un grande error, y la experiencia, como rectificación de la ilusión común primitiva.* El espíritu no-científico, en cambio, es aquel que se convierte en "impermeable ante los desmentidos de la experiencia"(Copleston, 1983).

Así pues, la ciencia avanza gracias a las rupturas epistemológicas que se van dando y así se acerca a la verdad. *No hemos encontrado ninguna solución posible para el problema de la verdad, que no sea ir descartando gradualmente los errores, cada vez más finos.* Sin

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

embargo, Bachelard reconoce que este proceso de ruptura epistemológica no es sencillo, hay grandes resistencias, grandes "obstáculos epistemológicos". El obstáculo epistemológico es una idea que prohíbe y bloquea otras ideas: hábitos intelectuales solidificados, la inercia que obliga al estancamiento de las culturas, teorías científicas enseñadas como si fuesen dogmas, los dogmas ideológicos que dominan las diferentes ciencias.

#### **2.3.4 Racionalismo Crítico de Karl R. Popper (1902-1994)**

Aunque se le ha identificado como miembro del Círculo de Viena, Popper nunca perteneció a éste. Popper no es un neopositivista, mas bien todo lo contrario; "oposición oficial", en palabras de Otto Neurath. Y en efecto, Popper substituyó el principio de verificación por el *criterio de falsación*, que es un criterio de demarcación entre ciencia y no ciencia. Reemplazó la teoría de la inducción por el método deductivo de la prueba, reinterpretó los fundamentos empíricos de la ciencia, rechazó la antimetafísica de los miembros del Círculo y revalorizó la tradición filosófica. (Reale, 1988. III)

Para Popper la inducción no existe; por un lado la inducción repetitiva que fundamenta una generalización, no es válida pues ninguna cantidad de observaciones permite generalizar. Y por otro lado la inducción por eliminación pretende eliminar o refutar las teorías falsas, pero según Popper, la cantidad de teorías rivales es siempre infinita.

*El hecho de que para cada problema siempre exista una infinidad de soluciones lógicamente posibles es uno de los hechos decisivos de toda la ciencia; es una de las cosas que convierten la ciencia en una aventura tan excitante. En efecto, vuelve ineficaces todos los métodos basados en la simple rutina. Ello significa que en la ciencia debemos utilizar la imaginación y las ideas audaces, aunque aquella y éstas siempre deban estar moderadas por la crítica y por los controles más rigurosos* (Reale, 1988. III).

Las ideas neopositivistas sugieren que el investigador debe carecer de supuestos previos, de hipótesis, de sospechas y de problemas. En definitiva debe ser una *tabula rasa* en la que más tarde se refleje el libro de la naturaleza. Popper llama "observativismo" a esta noción y considera que es un mito filosófico porque en realidad nosotros somos una *tabula plena*, una pizarra llena con los signos que la tradición o evolución cultural ha dejado en

su superficie. Si nos proponemos observar, hemos de tener en la mente una cuestión definida. Charles Darwin escribió *¡que extraño es que nadie vea que toda observación no puede dejar de mostrarse a favor o en contra de una teoría!*.

Según Popper, entonces, no existe el procedimiento inductivo y la noción de mente como *tabula rasa* es un mito. Para Popper, la investigación no toma como punto de partida observaciones, sino problemas: *problemas prácticos o una teoría que ha tropezado con dificultades, es decir, que ha hecho nacer expectativas y luego las ha defraudado*. Un problema es una expectativa defraudada. Serán la imaginación y la creatividad las herramientas para generar nuevas ideas y salir de estos problemas. Las ideas científicas no tienen orígenes privilegiados, pueden surgir del mito, de las metafísicas, del sueño, de la ebriedad, etc. Lo que importa, sin embargo, es que sean probadas de hecho, por lo tanto deben ser comprobables y controlables por principio. En otras palabras tiene que ser *falsable* (Reale, 1988. III).

Popper introduce el criterio de Falsación y toma un lugar central dentro de su pensamiento epistemológico. La investigación exige hipótesis y la comprobación de éstas exige extraer consecuencias de ellas. Si estas consecuencias se cumplen, decimos que la hipótesis de momento se confirma; en cambio, si por lo menos una de las consecuencias no se cumple, diremos que la hipótesis se ve falsada. Por lo tanto, toda teoría científica deberá ser formulada, de modo que se puedan extraer consecuencias de control fáctico, si no, no es una teoría científica. En palabras de Popper:

*A un sistema científico no le exigiré que sea capaz de ser escogido, en sentido positivo, de una vez para siempre; pero le exigiré que su forma lógica sea tal que pueda ser puesto en evidencia, mediante controles empíricos, en sentido negativo: un sistema empírico debe poder ser refutado por la experiencia.*

Popper reconoce una gran fuerza en el error, cualquier teoría aunque esté confirmada puede desmentirse, hay que tratar de falsarla, porque cuanto antes se encuentre el error antes se le podrá eliminar con la invención y la prueba de una teoría mejor que la anterior. Pero, ¿en qué sentido es mejor una teoría que otra?: mediante la ciencia buscamos la verdad, y una teoría es verdadera cuando se corresponde con los hechos. Pero aquí surge un problema, pues las consecuencias de una teoría son infinitas y no podemos controlarlas todas.

Para Popper el progreso de la ciencia consiste en que eliminando errores de teorías precedentes surjan teorías más verosímiles. Y esto es lo que ha ocurrido, por ejemplo, con el paso desde Copérnico a Galileo, desde Galileo a Kepler, desde Kepler a Newton, desde Newton a Einstein, que ha permitido avanzar hacia teorías cada vez más verdaderas. Ello no debe hacernos pensar que exista en la ciencia una ley del progreso. La ciencia puede estancarse. El avance de la ciencia ha conocido obstáculos epistemológicos, ideológicos, económicos etc., y quizás seguirá conociéndolos (Reale, 1988. III)

### **2.3.5 Epistemología postpopperiana: Kuhn, Lakatos, Feyerabend, Laudan y Toulmin.**

Este grupo de conocidos epistemólogos postpopperianos desarrollaron sus teorías en un contacto cada vez más estrecho con la historia de la ciencia. Las posiciones absolutistas, ya sean racionalistas o empiristas, son superadas y surge una posición constructivista para la que el conocimiento es una construcción de la inteligencia humana que va creando estructuras nuevas a partir de los conocimientos que se poseen (Mellado, 1993).

A partir de mediados de este siglo, el trabajo de los positivistas ha sido duramente criticado por autores como Popper, Toulmin, Kuhn, Feyerabend, Lakatos y Laudan, lo que ha generado una nueva filosofía de la ciencia. De acuerdo con esta filosofía, nuestras observaciones dependen en parte de lo que ha sido la formación, experiencia y expectativas del observador; por lo tanto, las observaciones no pueden ser tan objetivas, sino que son impregnadas por el marco teórico del científico. Para el positivismo el conocimiento existe más allá del científico. La nueva filosofía de la ciencia presenta una perspectiva totalmente distinta. Lo que el científico observa e investiga es una "construcción de la realidad de acuerdo con su formación, marco teórico y hasta valores sociales" (Níaz, 1994).

### **2.3.6 Thomas S. Kuhn (1922-1996)**

En 1963, Thomas S. Kuhn publicó el libro *La estructura de las revoluciones científicas*, donde afirma que la "comunidad científica" se construye a través de la aceptación de teo-

rías que Kuhn denomina “paradigmas”. Escribe: *Con este término quiero indicar conquistas científicas universalmente aceptadas, que durante un tiempo determinado brindan un modelo de problemas y soluciones aceptables a aquellos que trabajan en un campo de investigación.*

Una teoría paradigmática es la que instituye una determinada comunidad científica, que en virtud de los supuestos paradigmáticos llevará a cabo lo que Kuhn denomina “ciencia normal”. Como ya se ha citado, para Kuhn *la ciencia normal significa investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas pasadas, realizaciones que alguna comunidad científica particular reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento para su práctica posterior.* Esta práctica posterior consistirá, en palabras de Kuhn, *en un laborioso y dedicado intento de obligar a que la naturaleza entre dentro de las casillas conceptuales suministradas por la educación profesional* (Kuhn, 2002).

La ciencia normal es acumulativa, se construyen instrumentos más potentes, se efectúan mediciones más exactas, se amplía la teoría a otros terrenos, etc., y el científico normal no busca la novedad. Sin embargo, la novedad tendrá que aparecer necesariamente. El motivo es que la articulación teórica y empírica del paradigma aumenta el contenido informativo de la teoría y, por lo tanto, le expone al riesgo de verse desmentida. Todo esto explica aquellas anomalías que, en un momento determinado, debe afrontar la comunidad científica y que, resistiéndose a los asaltos reiterados de las suposiciones paradigmáticas, provocan la crisis del paradigma (Reale, 1988. III).

Kuhn habla de la gestación de un nuevo paradigma científico en el momento en que las anomalías de una teoría se revelan y los científicos pierden confianza en esta teoría. Así pues, inicia un proceso de reorientación hacia otro paradigma. Es este proceso lo que caracteriza a una *revolución científica*. Sin embargo, dice Kuhn, *es en los periodos de ciencia normal cuando el progreso parece evidente.* En cambio *durante los periodos de revolución, cuando las doctrinas fundamentales de un ámbito se hallan todavía en discusión, con frecuencia se exponen dudas sobre la posibilidad de que continúe el progreso si se adopta uno u otro de los paradigmas que se enfrentan.*

El progreso se da, mas bien, en el momento en que un paradigma es aceptado por la comunidad. Sin embargo, Kuhn cuestiona: *¿progreso hacia qué?* La evolución de la ciencia no significa estar mas cerca de la verdad, sino que salimos de un estado primitivo. Así, la

ciencia no tiende hacia ningún objetivo o, si se prefiere su objetivo es salir de un estado primitivo (Kuhn, 2002).

En cuanto a la posibilidad de evaluación de las teorías científicas, criterio que ha sido utilizado para la clasificación de las filosofías de la ciencia, en el caso de Kuhn se puede considerar que hay posibilidad de evaluar las teorías en los periodos de "ciencia normal", pero no en los periodos de "ciencia revolucionaria" (Mellado, 1993)

Kuhn subrayó la noción de paradigma y la existencia de periodos de "ciencia normal" en los que domina un determinado paradigma. El cambio de paradigma se producirá en momentos de crisis, más por reconstrucción del campo que por acumulación o ampliación del antiguo paradigma. Al partir de presupuestos distintos, los paradigmas sucesivos serían incomparables. El progreso científico existe en el sentido de que los nuevos paradigmas son más precisos y consistentes y tienen más capacidad de resolver problemas.

Las ideas de Kuhn han sido aceptadas por algunos y muy criticadas por otros. Popper, en el escrito *La ciencia normal y sus peligros* (1966), señala que la ciencia normal en el sentido de Kuhn existe, realmente, pero *es la actividad del profesional no revolucionario, o no demasiado crítico: del cultivador de disciplinas científicas que acepta el dogma predominante en su época, no quiere ponerlo en discusión y acepta una nueva teoría revolucionaria sólo si casi todos los demás se hallan dispuestos a admitirla, es decir, si se convierte en moda por una especie de arrebatador consenso universal*. Debido a ello, en opinión de Popper el científico normal está mal educado: ha sido educado en un espíritu dogmático y es víctima del adoctrinamiento. Por otro lado, Imre Lakatos se declara en contra de la idea de un paradigma que domine de manera casi teológica la comunidad científica, y en contra de la idea de que el desarrollo de la ciencia debería avanzar mediante sucesivas catástrofes.

### **2.3.7 Imre Lakatos (1922-1974)**

La noción fundamental en la imagen de la ciencia que propone Lakatos es que la ciencia es, ha sido y tiene que ser una competencia entre programas rivales de investigación. Según Lakatos esta idea caracteriza el *falsacionismo metodológico* sofisticado, a diferen-

cia del *falsacionismo dogmático* y del *falsacionismo metodológico ingenuo*, los dos insatisfactorios; el primero debido a que supone que las falsaciones son infalibles y la historia de la ciencia ha demostrado que las falsaciones pueden estar equivocadas; y el segundo, porque concibe el desarrollo de la ciencia como una serie de duelos entre una teoría y los hechos. Lakatos, en cambio, afirma que la lucha entre lo teórico y lo fáctico siempre ocurre entre tres: entre dos teorías en competencia y los hechos. Para Lakatos la ciencia avanza por una sucesión de teorías desarrolladas por un "programa científico de investigación" y estos programas tienen éxito, en palabras de Lakatos: *si conduce a un deslizamiento progresivo del problema; no tiene éxito cuando conduce a un deslizamiento regresivo del problema* (citado en Reale, 1988. III)

Para Lakatos todo programa de investigación científica tiene núcleos centrales resistentes al cambio, y a lo más que se llegaría con la falsación sería a rechazar hipótesis auxiliares que podrían fácilmente sustituirse sin alterar lo esencial. El progreso científico más bien se producirá por competencia entre programas, de tal forma que hay que considerar simultáneamente las desventajas de lo viejo y las ventajas de lo nuevo. Se evalúan los progresos o degeneración de los programas de investigación (Mellado, 1993).

La metodología de Lakatos consta de un centro firme, constituido por los aspectos esenciales de la teoría (heurística negativa), que incluye sus supuestos fundamentales considerados irrefutables, y un conjunto de hipótesis auxiliares (heurística\* positiva), compatibles con el centro firme. En contraste con la heurística negativa, la hipótesis en la que se sustenta la heurística positiva es susceptible de cambio y de refutación. Los científicos, en general, desarrollan sus teorías a través de la heurística positiva que permite modificaciones, lo que impide la refutación de la heurística negativa (Niaz, 1994).

Uno de los aspectos más resaltantes de la metodología de los programas de investigación científica de Lakatos es que, en lugar de enfocar sobre las observaciones y falsaciones de las teorías, se enfatiza la competencia entre los programas de investigación o, en otras palabras, el cambio en el poder heurístico/explicativo de las teorías. El hecho de que haya evidencia empírica contra una teoría, no significa que la teoría esta falsada, sino que esto indica la necesidad de aumentar el poder heurístico/explicativo de la teoría, y eso sería factible en la medida en que se desarrolle otra teoría en competencia (Niaz, 1994).

\***Heurística.** (Del gr. Eurisko, hallar, inventar) Arte de inventar. Se dice de las hipótesis que como ensayo de explicación, conducen al descubrimiento de nuevos hechos.



Lakatos establece tres escuelas de pensamiento en cuanto a la posibilidad de evaluación de las teorías científicas:

- a) El escepticismo, que piensa que no hay posibilidad de evaluar las teorías científicas; en este grupo incluye a Pirrón y a Feyerabend.
- b) Demarcacionismo, que cree que existen criterios de demarcación para las teorías científicas y, además, que los criterios son universales; en este grupo se incluye a Popper y al mismo Lakatos.
- c) El elitismo, formado por los que piensan que no hay criterios universales para evaluar las teorías científicas, en el se utilizarían criterios psicológicos, sociológicos e históricos y más que evaluar el producto científico se evaluaría a sus productores (la élite científica). En este grupo incluye a Kuhn y a Toulmin.

### **2.3.8 Paul K. Feyerabend (1924-1994)**

Paul K. Feyerabend por su parte desarrolla la idea del anarquismo epistemológico, que consiste en la tesis según la cual *la noción de un método que contenga principios firmes, inmutables y absolutamente vinculantes, en calidad de guía de la actividad científica, choca con dificultades notables cuando se enfrenta con los resultados de la investigación histórica. En efecto, nos encontramos con que no existe una sola norma-por plausible que sea y por sólidamente arraigada que se encuentre en la epistemología-que no haya sido violada en alguna circunstancia. Se hace evidente también que tales violaciones no son acontecimientos accidentales, y tampoco son el resultado de un saber insuficiente o de faltas de atención que hayan podido evitarse. Al contrario, vemos que dichas violaciones son necesarias para el avance científico. En efecto, uno de los rasgos que más llaman la atención en las recientes discusiones sobre historia y sobre filosofía de la ciencia es el tema de conciencia del hecho de que acontecimientos y avances significativos en la ciencia, sólo se llevaron a cabo porque algunos pensadores decidieron no dejarse atar por determinadas normas metodológicas obvias, o porque involuntariamente las violaron.* (Feyerabend, 1981)

Feyerabend propone la tesis según la cual las violaciones de las normas del método no sólo son un dato de hecho, sino que resultan necesarias para el progreso científico; y trata de avalar su tesis mediante casos históricos. Afirma que la noción de método fijo o de una teoría fija de la racionalidad se apoyan en una visión muy ingenua del hombre (Reale, 1988. III). *A quienes consideran el rico material que proporciona la historia y no intenten empobrecerlo para dar satisfacción a sus más bajos instintos y a su deseo de seguridad intelectual con el pretexto de claridad, precisión, objetividad, verdad, a esas personas les parecerá que sólo hay un principio que puede defenderse bajo cualquier circunstancia y en todas las etapas del desarrollo humano. Me refiero al principio "todo sirve"* (Feyerabend, 1981).

En "Adiós a la Razón" (1987), Feyerabend dice acerca de la estructura de la ciencia: *Ocasionalmente, desarrollos concretos tienen rasgos distintos y por ello, en ciertas circunstancias, podemos decir por qué y cómo han conducido tales rasgos al éxito. Pero esto no es verdad para todo desarrollo científico, y un procedimiento que nos ayudó en el pasado puede pronto llevarnos al desastre. La investigación con éxito no obedece a estándares generales: ya se apoya en una regla, ya en otra, y no siempre se conoce explícitamente los movimientos que la hacen avanzar* (Feyerabend, 1987).

Así, Feyerabend se opone al método y a subordinar la actividad científica a una teoría de la racionalidad, considerando el trabajo científico como algo mucho más complejo, con un rico proceso histórico y señalando la necesidad de preparar al científico para una ardua tarea. Afirma que esta idea no es nueva, sino que ha sido sostenida por científicos como Boltzmann y Einstein, quienes cuestionaron abstracciones como espacio, tiempo, sustancia, cuerpo entre otras, y las encontraron defectuosas. Ni las mismas leyes de la lógica quedaron exentas de sus dudas, Boltzmann las consideraba como ayudas temporales al pensamiento que pronto serían sustituidas por leyes mejores. (Feyerabend, 1987).

### **2.3.9 Larry Laudan**

Larry Laudan en "El progreso y sus problemas: Hacia una teoría del conocimiento científico" (1986) afirma que el objetivo de la ciencia consiste en resolver problemas. Así, los supuestos básicos para el desarrollo de la ciencia serían, principalmente:

- 1) El problema resuelto, empírico o conceptual, es la unidad básica del progreso científico
- 2) El propósito de la ciencia consiste en maximizar el alcance de los problemas empíricos resueltos y reducir el alcance de los problemas empíricos anómalos, y de los conceptuales no resueltos. De esto se deduce que *cada vez que modificamos una teoría o la sustituimos por otra, esta innovación constituye un progreso sí y sólo si la teoría modificada o la nueva teoría es más eficiente para resolver problemas que la doctrina anterior.*

En cuanto a las teorías, Laudan hace dos señalamientos importantes:

- a) *La evaluación de las teorías es un progreso comparativo, ya que carecen de significado las mediciones en términos absolutos de las credenciales empíricas o conceptuales de una teoría.*
- b) *Las teorías no viven de manera aislada, y hemos de considerar todo un espectro de teorías individuales.*

Así, por ejemplo, el término "teoría atómica" se refiere por lo general a las teorías de un amplio conjunto, que se apoyan en el supuesto de que la materia es discontinua. Con esto, Laudan de alguna manera nos refiere a los conceptos de "paradigma de Kuhn" y de "programas científicos de investigación" de Lakatos. Sin embargo, Laudan manifiesta su insatisfacción ante estos modelos. En opinión de Laudan *tanto los programas de investigación de Lakatos como los paradigmas de Kuhn tienen en su estructura central tanta rigidez que no admiten ninguna transformación fundamental.* La historia de la ciencia contradice esta rigidez. (Reale, 1988. III)

Laudan propone la teoría de las "tradiciones de investigación" para comprender el progreso científico. Concibe las tradiciones de investigación de un modo más flexible que los

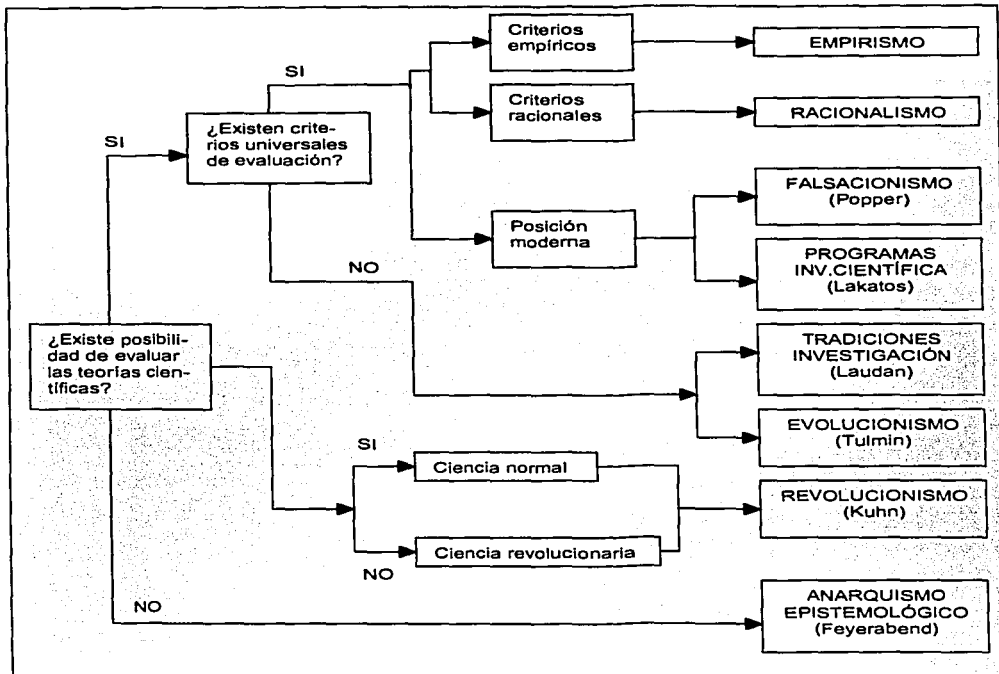
paradigmas de Kuhn y los programas de investigación de Lakatos, porque el desarrollo histórico de las tradiciones de investigación muestra que no sólo cambian las teorías auxiliares sino también, a lo largo del tiempo los supuestos centrales, *lo que en la mecánica del siglo XVIII fue tomado como propio del núcleo intocable de la tradición newtoniana (por ejemplo, el espacio y el tiempo absolutos), ya fue considerado como tal por los newtonianos del siglo XIX*. Así pues, la diferencia está en que el cambio científico se produce de una forma continua y la unidad de cambio sería la resolución de problemas y no las tradiciones de investigación. El cambio de tradición de investigación se producirá cuando exista, además, un cambio ontológico y metodológico (Mellado 1993).

### **2.3.10 Toulmin**

En "La comprensión humana (I): El uso colectivo y la evolución de los conceptos" (citado en Reale, 1988. III), Toulmin propone el concepto de ecología intelectual y establece una analogía entre la evolución biológica y la construcción del conocimiento científico. Las ideas científicas constituyen poblaciones conceptuales en desarrollo histórico y las teorías científicas cambiarían por evolución selectiva de las poblaciones conceptuales. Partiendo de los problemas no resueltos se producirán unas exigencias intelectuales o unas prácticas específicas, que llevarían a una presión selectiva sobre las poblaciones conceptuales y, finalmente, a un desarrollo por innovación y selección (Porlan 1990).

A continuación se presenta un diagrama que ordena a las escuelas de pensamiento en filosofía de la ciencia según su planteamiento sobre la evaluación de las teorías científicas. (Figura Número 1).

**2.4 Cuadro de Escuelas de Pensamiento en filosofía de la Ciencia**



**Figura Núm. 1** Escuelas de pensamiento en filosofía de la ciencia según su planteamiento sobre la evaluación de las teorías científicas (Mellado, 1993)

## **CAPITULO III**

### **Primer Nivel**

# **Del Conocimiento Común al Conocimiento Científico**

### 3.1 Dos Niveles de Aprendizaje

De unos años a la fecha ha surgido un movimiento, en investigación didáctica, muy fructífero acerca de diferentes factores que durante mucho tiempo no fueron tomados en cuenta dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Factores como: ideas previas, heurísticos, habilidades y actitudes, concepciones epistemológicas e historia de la ciencia han aparecido como fundamentales para el aprendizaje significativo de las ciencias. La relevancia de estos aspectos en la educación es revelada por el sin número de documentos publicados en revistas como *Enseñanza de las Ciencias, Educación Química, Investigación en la Escuela, Science Education, European Journal of Science Education*, entre otras.

Los factores antes mencionados, para los fines de este trabajo, se han identificado dentro de dos niveles de aprendizaje:

- El primer nivel (conocimiento común- conocimiento científico) contemplaría aquellos factores que estarían directamente vinculados con la adquisición de conocimiento científico, como:
  - Ideas previas
  - Heurísticos
  - Habilidades y actitudes.
  
- El segundo nivel (cambio entre distintos paradigmas científicos) contemplaría aquellos factores que estarían relacionados con las concepciones e ideas de la ciencia en general y el quehacer científico, como:
  - Concepciones epistemológicas
  - El papel de la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza.

El *primer nivel* es el referido al proceso que lleva del conocimiento común al conocimiento científico (Cudmani, 2000). Este cambio es cualitativamente significativo, se trata de un nuevo modo de conocer, cuyos presupuestos epistemológicos se modifican radicalmente.

El conocimiento común, generado en la interacción con las experiencias de la vida diaria y con otros individuos, se construye en base a criterios, modos de razonar, propósitos y valoraciones que, si bien suelen ser suficientes para enfrentar las exigencias de la coti-

dianidad, difieren sustancialmente de la desiderata de precisión, coherencia, objetividad y sistematicidad del conocimiento científico en ciencias fácticas (Bunge, 1985).

Los numerosísimos trabajos realizados en los últimos años respecto a las preconcepciones y a su resistencia y arraigo frente a las concepciones científicas, muestran claramente cuán profundo es el cambio de estructura cognoscitiva necesario para pasar del conocimiento común al conocimiento científico (Cudmani, 2000).

El *segundo nivel*, también importante en el aprendizaje de las ciencias, es el de los cambios entre distintos paradigmas científicos, alternativos o superadores (Cudmani, 2000). En estos casos, los cambios epistemológicos, metodológicos y axiológicos concomitantes pueden, o no, ser tan significativos como en el primer nivel.

A lo largo de la historia del pensamiento científico se han presentado casos en los cuales, para que un nuevo paradigma se imponga, no se han requerido grandes modificaciones a las estructuras epistemológicas o metodológicas, como podría ser el cambio del paradigma galileano al newtoniano. En cambio, se han dado otros procesos donde el rompimiento tanto de metodologías como de las estructuras epistemológicas ha tenido que ser obligado para la instauración del nuevo paradigma científico, que podríamos decir es central y característico. Consideremos, por ejemplo, la transición de la mecánica clásica a la mecánica cuántica, donde los rompimientos epistemológicos fueron necesarios para la instauración del nuevo paradigma.

*Lo más arduo del aprendizaje de la mecánica está en el esfuerzo requerido cuando los estudiantes cambian sus pensamientos de un paradigma a otro. Los cambios de paradigma no se consiguen fácilmente, ni en la empresa científica ni en la mente de los estudiante. (Matthews, 1994 citando a Champagne y otros)*



### 3.2 Conocimiento común y conocimiento científico

Antes de analizar el proceso o procesos que se llevan a cabo para la adquisición del conocimiento científico, será conveniente recordar algunos aspectos sobre *el pensamiento*, como uno de los elementos fundamentales del conocimiento.

Cada vez que se conoce algún objeto queda una huella interna en el sujeto, en su memoria, y consiste en una serie de pensamientos que, en cierto modo, nos recuerdan al objeto conocido. Los pensamientos son, pues, las expresiones mentales del objeto conocido. El objeto, en la mayor parte de las ocasiones, es extramental, es decir, existe fuera de la mente, en forma independiente del sujeto que lo conoce. En otras ocasiones el contenido es intramental, es decir, existe dentro de la mente, y esto sucede cuando enfocamos directamente la atención hacia los pensamientos previamente obtenidos, que dicho sea de paso, son intramentales. Esto es el acto de pensar, y consiste en combinar los pensamientos para obtener otros nuevos (Gutiérrez, 1989).

Nótese que el pensamiento es diferente con respecto al objeto captado. El pensamiento señala o expresa el objeto captado, pero no coincide del todo con él. Cuando se dice que el pensamiento es una representación del objeto, no se quiere decir que el pensamiento funciona exactamente como una fotografía. El pensamiento, sea una imagen, una idea o un argumento, es una construcción mental que, desde luego, debe en gran parte su existencia al objeto que trata de representar o expresar, pero no tanto como para ser considerado como un retrato del objeto. (Gutiérrez, 1989)

¿Cuál es la relación entre pensamiento y conocimiento? En muchas ocasiones estos dos términos se han utilizado como sinónimos, sin embargo, aunque guardan una estrecha relación, su naturaleza es distinta. El conocimiento abarca al pensamiento, *es la operación por la cual un sujeto obtiene expresiones mentales de un objeto* (Gutiérrez, 1989). Cuando el sujeto conoce, obtiene una serie de pensamientos a partir de un objeto. Pensar, en cambio, es echar mano de esos pensamientos ya obtenidos, combinarlos e inclusive, inferir otros nuevos.

Es importante distinguir entre dos cualidades del pensamiento; el *pensamiento correcto* y el *pensamiento verdadero*. El ideal en el conocimiento científico es que sea correcto y

verdadero; sin embargo, no es difícil encontrar pensamientos que carecen de corrección o de verdad. Es posible tener pensamientos correctos, pero falsos; y también pensamientos verdaderos pero incorrectos (Gutiérrez, 1989)

El pensamiento verdadero es el que está de acuerdo con la realidad que intenta expresar. Si pienso que una reacción es espontánea y efectivamente es espontánea, mi pensamiento es verdadero por estar de acuerdo con la realidad. El pensamiento falso es lo contrario de lo anterior; no está de acuerdo con la realidad que expresa. Si pienso que el punto de ebullición del agua a la altura de la ciudad de México es de 100° C, tengo un pensamiento falso pues la realidad es otra.

El pensamiento correcto es el que está de acuerdo con las leyes de la razón. Sería un poco complicado, para los fines de este trabajo, explicar detalladamente en que consisten las leyes de la razón desde un punto de vista de la lógica, pero se darán algunos ejemplos con el fin de aclarar esta afirmación.

- a) Con respecto a las definiciones hay una norma que dice lo siguiente: "lo definido no debe entrar en la definición". Por tanto, si defino a los no metales como aquellos elementos que tienen propiedades de no metales, estoy diciendo algo verdadero pero incorrecto.
- b) Si en un trabajo de laboratorio se realiza una serie de experimentos sobre caída libre, y en el reporte se presentan conclusiones sobre tiro parabólico, pues es obvio que éstas no se derivan de las observaciones del experimento realizado. Por lo tanto, aunque las afirmaciones fueran verdaderas, son indudablemente incorrectas.
- c) Un caso especial es el de los pensamientos correctos pero falsos. Esto sucede cuando, por ejemplo, en un raciocinio se respetan todas las leyes del mismo, pero se parte de premisas falsas. En la resolución de una ecuación o un sistema de ecuaciones pueden ser correctos todos los pasos, pero si los datos estaban equivocados desde el principio, la respuesta será falsa.

- d) Otro principio importante de la lógica es el principio de contradicción: "una misma cosa no puede ser y dejar de ser al mismo tiempo y bajo el mismo aspecto". En otros términos, la característica más sobresaliente en los pensamientos correctos es una congruencia o coherencia interna.

Los pensamientos pueden ser de distinta naturaleza dependiendo de la forma como estos se originan, o bien, del método empleado. Así pues podemos hablar de pensamiento filosófico, pensamiento cotidiano o pensamiento científico como generadores de conocimiento filosófico, ordinario o científico. El conocimiento científico se logra utilizando, entre otras cosas, el método científico. Pero el conocimiento científico no comienza en cero, sin dato alguno; ocurre precisamente lo contrario: parte de un cuerpo de conocimientos ordinarios, vulgares, junto con conocimientos científicos previos, hipótesis aun no confirmadas, teorías no claramente especificadas. Dentro de este conjunto surge una interrogante que el científico trata de aclarar (Serrano, 1981).

Es muy importante señalar que la mayor parte de nuestra vida todos somos personas comunes y corrientes, y tenemos un conocimiento ordinario de las cosas. Sin entrar en detalles, suele decirse que el conocimiento ordinario es vago, impreciso, poco crítico, fundado exclusivamente en observaciones sensibles. Por el contrario, el conocimiento científico es claro, preciso, crítico, fincado en conceptualizaciones (Serrano, 1981). Por su parte, los pensamientos que forman el conocimiento cotidiano o científico son de diferente naturaleza.

En el transcurso de un día cualquiera, cada persona elabora una larga serie de pensamientos a partir de su contacto con el mundo que le rodea. El contacto sensible con el mundo y la actividad intelectual producen imágenes, ideas y recuerdos, que son nuestros pensamientos cotidianos. Por lo tanto, el pensamiento cotidiano es de naturaleza espontánea y sencillo, a diferencia del pensamiento científico que requiere de una construcción más elaborada y compleja.

Ahora bien, el sujeto de interés en este trabajo es el alumno. Aquel que está sentado en un aula recibiendo una clase de Química General o Física o Cálculo. Este individuo es una persona común, con su almacén de pensamientos e ideas sobre el mundo muy particulares. Con sus habilidades poco o muy desarrolladas para leer, escribir e interpretar el

lenguaje científico. Es este el sujeto que está en proceso de adquirir conocimiento científico para en un futuro aplicarlo y crear nuevo conocimiento.

Frente al estudiante, el profesor se encuentra con una realidad difícil de abordar para que éste dé el salto del conocimiento común al conocimiento científico. Por un lado está lo que se ha denominado como *ideas previas*; todas esas ideas que utiliza el alumno para la interpretación de diversos fenómenos antes de recibir la enseñanza en la que aprende la explicación científica (Hierrezuelo, 2002). Y por otro lado, el grado de desarrollo de las habilidades necesarias para la adquisición de conocimiento científico, que podrían sintetizarse en leer, escribir y hacer cálculos.

*Es necesario tener presente que la formación científica debe entenderse como una introducción a una forma de comunicación especial, que no puede realizarse si no se dominan habilidades básicas...*(Bandiera, 1995).

En el caso de las ideas previas podemos tener el caso de pensamientos correctos pero falsos. Correctos por no faltar a las leyes de la razón, pero falsos por partir de premisas falsas debido a una concepción muy limitada de la realidad. Considérese el caso de caída libre de una piedra o un bloque de acero y la caída libre de una pluma. Si se preguntara en un salón de clases; ¿qué cae primero? inevitablemente todos los alumnos responderán que cae primero el bloque de acero o la piedra, pues nunca en su vida han considerado la posibilidad de que cayeran en el vacío, y mucho menos haber observado la caída de estos dos objetos en el vacío, experiencia que ampliaría enormemente su visión de la realidad.

Así pues, se puede afirmar que estos elementos conforman una especie de *conspiración cognitiva* contra el trabajo del profesor de ciencias y constituyen obstáculos formidables que dificultan enormemente el aprendizaje significativo de las ciencias por parte de los alumnos (Campanario, 2000).

Así pues, dentro del primer nivel de aprendizaje, cuyo aspecto central es el proceso que lleva del conocimiento común al conocimiento científico, hemos identificado principalmente tres factores que pueden convertirse en un verdadero obstáculo, tanto para el alumno como para el profesor de ciencias, dentro del proceso enseñanza-aprendizaje. Pero si se consideran, pueden convertirse en una herramienta valiosa para favorecer el aprendizaje.

Los tres factores que abordaremos en este trabajo como fundamentales dentro de lo que se ha mencionado como primer nivel, son:

- Las *ideas previas* de los alumnos.
- Los *heurísticos* o "metodología de la superficialidad".
- El desarrollo de habilidades para la adquisición de conocimiento científico.

Los dos primeros factores, aunque los hemos separado para su identificación, mantienen una estrecha relación, como veremos más adelante.

### **3.3 Las ideas previas de los alumnos y los heurísticos.**

En la investigación sobre didáctica de las ciencias experimentales se ha desarrollado, en los últimos años, una línea muy fructífera, tanto por la importancia que tiene para comprender la forma en la que se realiza el aprendizaje como por su aplicación inmediata en las clases. No existe un acuerdo generalizado sobre cómo llamar a este campo que ha experimentado tan considerable crecimiento, de manera que encontramos varias denominaciones como: "esquemas alternativos" (*frameworks*), "concepciones alternativas", "representaciones mentales", "ciencia de los alumnos" (*pupils science*), "errores conceptuales" (*misconceptions*), "conocimiento del sentido común", entre otras. Nosotros utilizaremos el término de ideas previas.

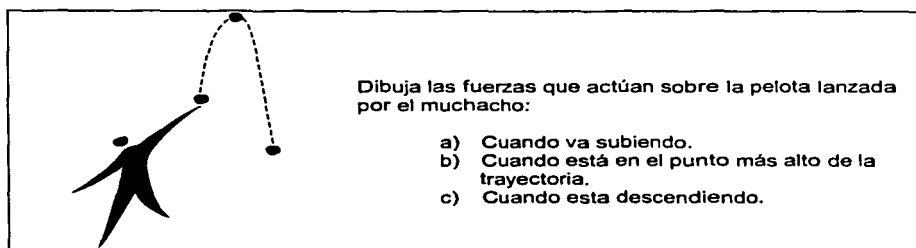
La persistencia de las ideas de los alumnos, frecuentemente no compatibles con los puntos de vista científicos, y su efecto sobre el aprendizaje de los conceptos, han estimulado estudios e investigaciones para comprender cómo se originan dichas ideas, de que manera influyen en el proceso de enseñanza-aprendizaje y cómo inciden en los resultados del aprendizaje (Hierrezuelo, 2002).

Así pues, tenemos dos vertientes importantes a abordar: por un lado el origen y naturaleza de las ideas previas; y por otro, la influencia que estas han tenido, junto con otros factores ya mencionados, en el desarrollo de nuevas tendencias en educación de la ciencia como el *cambio conceptual* y el *cambio conceptual y metodológico*.

Un gran reto para el docente en ciencias es lograr transformar el conocimiento científico alternativo que sus alumnos ya poseen. Durante muchos años los profesores han desempeñado su trabajo como si la mente de sus alumnos fuesen receptáculos vacíos en los que había que colocar el conocimiento (Campanario, 2000). La metáfora del profesor como un transmisor del conocimiento o del aprendizaje, como un proceso de llenado de un recipiente o de escritura en una pizarra vacía, reflejan claramente estos puntos de vista que valdría la pena eliminar por completo. Los alumnos aprendían más o menos dependiendo de su capacidad y el aprendizaje se concebía, fundamentalmente, como un proceso de adquisición de información y, sólo en segundo lugar, como un proceso de desarrollo de destrezas.

Quizás el aspecto más preocupante sea como se mantienen a lo largo de los años las ideas que tienen los alumnos antes de recibir la enseñanza formal. La dificultad para cambiar estas ideas no es la misma en todos los temas, siendo la persistencia de tales dificultades mayor en aquellas que están relacionadas con hechos y fenómenos que los alumnos observan con frecuencia (Hierrezuelo, 2002).

Viennot, investigando las ideas sobre mecánica de un numeroso grupo de estudiantes de varios países, comprobó la dificultad de cambiar el punto de vista de los alumnos por otro más acorde con el punto de vista científico. Propuso una serie de cuestiones a los alumnos tan elementales como la representada en la figura número 2, a pesar de lo cual los porcentajes de respuestas erróneas fueron muy altos: 61% para estudiantes del último año de secundaria, 42% para estudiantes de primer año de universidad y 56% para otro grupo de primer año de universidad (citado en Hierrezuelo, 2002).



**Figura Núm. 2** Prueba de Viennot (citado en Hierrezuelo,2002).

Es frecuente que los enfoques tradicionales fracasen en el intento de que los alumnos desarrollen las concepciones científicas comúnmente aceptadas. Una enseñanza por transmisión, que no tiene en cuenta las ideas previas de los alumnos, no logra eliminarlas. Con frecuencia ni siquiera lo consigue una instrucción orientada al cambio conceptual y que tenga como objetivo explícito la eliminación de estas ideas previas y su sustitución por concepciones científicas adecuadas (Campanario, 1999a).

La revelación de la existencia de las ideas previas permite al profesor de ciencias explicarse el por qué de muchas preguntas y respuestas, del alumno, aparentemente sin sentido. Además, es muy probable que tome una actitud muy diferente a la tradicional sancionadora. Una actitud de comprensión e interés por cómo piensa y cuáles son los modos de razonar del estudiante, para poder utilizar estrategias más idóneas en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Un error es una señal de que algo no marcha bien y aunque su presencia al término del aprendizaje no es deseable, puede resultar el desencadenante de un fructífero proceso que conduzca a indagar sus causas y elaborar recursos para combatirlo (Hierrezuelo, 2002). Desafortunadamente, las predicciones que formulan los alumnos a partir de las ideas previas pueden ser muchas veces correctas, de ahí deriva en parte la dificultad de eliminarlas. Como cualquier profesor sabe, es posible que un alumno conteste bien determinadas preguntas basándose en razonamientos incorrectos (Campanario, 2000).

Parece claro que las ideas previas son resistentes al cambio. El resultado es que los alumnos mantienen dos esquemas de conocimiento. Por una parte, estarían sus conocimientos académicos sobre fenómenos, teorías, leyes, fórmulas y métodos para resolver problemas. Estos conocimientos académicos son útiles en el medio escolar dado que sirven para resolver ejercicios y para aprobar los exámenes tradicionales. Por otra parte, los alumnos mantienen muchas veces su arsenal de ideas previas, que son útiles para entender la realidad y para interactuar con el medio que les rodea. Incluso es frecuente encontrar estudiantes universitarios y licenciados que han terminado sus carreras y mantienen concepciones erróneas sobre los fenómenos científicos (Driver, 1988).

Pero, ¿cuál es el origen y características de las ideas previas? A pesar de que reconocer el origen de las ideas previas puede convertirse en una tarea en extremo complicada, se han registrado tres grupos esenciales que son las de:

- Origen sensorial o *concepciones espontáneas*.
  - Heurísticos.
- Origen social o *concepciones inducidas*.
- Origen analógico o *concepciones análogas*.

### **3.2.1 Las concepciones espontáneas**

Las *concepciones espontáneas*, tienen su origen principalmente en determinados esquemas conceptuales ampliamente extendidos en todas las culturas, son esquemas sencillos y útiles. Uno de los conceptos que mayor influencia ha tenido en la reciente evolución de la psicología del pensamiento ha sido la noción de *heurístico* desarrollado por Tversky y Kahneman en 1974 (citado en Pozo, 1991). Según estos autores las personas, en lugar de usar reglas formales rigurosas para razonar, solemos utilizar reglas aproximativas, de carácter mas bien intuitivo, que nos ayudan a cerrar tareas complejas o a alcanzar conclusiones en situaciones inciertas en las que la aplicación de un análisis lógico sistemático sería muy costosa. Esas reglas aproximativas, que ellos denominan heurísticos, conllevarían ciertos sesgos que nos alejarían de las conclusiones formalmente correctas, o científicamente válidas, pero serían pragmáticamente válidas en la vida cotidiana (Pozo, 1991).

Estos heurísticos tienen la característica de ser sencillos y útiles en la vida cotidiana como: *a mayor causa, mayor efecto*, o la tendencia de los alumnos por *explicar los cambios y no los estados*, lo que los limita para construir algunos de los esquemas esenciales de la comprensión de la ciencia, como son las nociones de conservación y equilibrio. Explicar fenómenos a partir de estos razonamientos supone una cierta tendencia natural por hacer razonamientos sencillos, poco complicados y prácticos por un lado, y por otro la falta de información o de conocimientos científicos, natural en alumnos en formación. Aunque se ha comprobado que aún con los conocimientos necesarios para llegar a conclusiones científicamente correctas, los estudiantes en la vida cotidiana se resisten a utilizarlos.



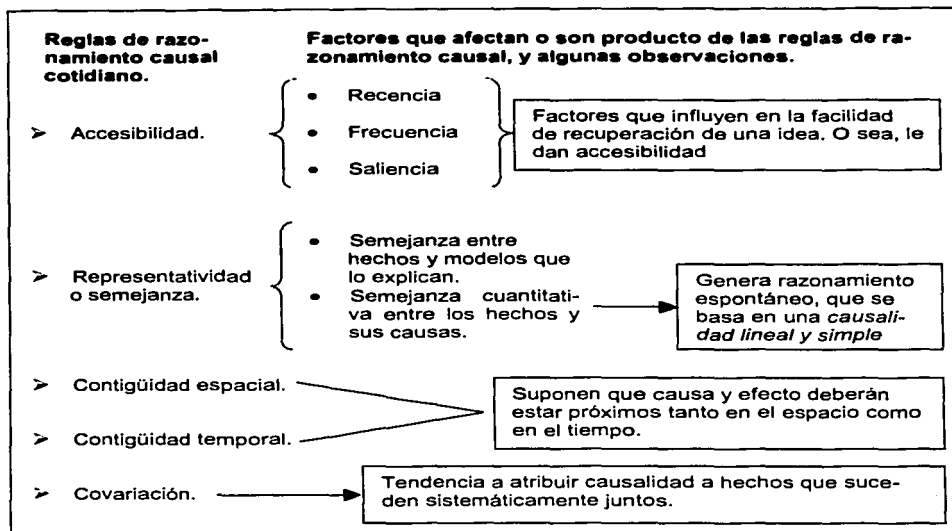
No debería extrañarnos que los alumnos no fijen su atención en los estados sino en los cambios, pues esto es común en nuestro pensamiento cotidiano. Generalmente nos cuestionamos sobre el por qué de las cosas cuando algo sale de su comportamiento normal. Es poco común que alguien se pregunte para qué le sirve el dedo pulgar, mas bien lo usa y ya está. Pero si esta persona sufre un accidente, y debe permanecer unos días con el dedo pulgar inmovilizado, entonces seguramente caerá en la cuenta de lo importante que son las funciones de éste. Es poco común que una persona se cuestione sobre el estado normal de las cosas, ésta es una característica del quehacer científico; ¿por qué las cosas son como son? Y debería de ser una actitud que persiguiera la educación en ciencias, que el alumno aprenda a hacer preguntas sobre lo normal y cotidiano.

Muchos trabajos hacen referencia a este tipo de ideas previas, entre ellos los trabajos de varios investigadores (De Posada Aparicio 1993, Pozo 1991, Hierrezuelo 2002), donde se hace notar que las ideas de los estudiantes están fuertemente ligadas a lo fenomenológico. Para ellos la materia es continua y estática, sin embargo si identifican la presencia de partículas (Valdez et al, 1998).

Ahora bien ¿cuál es la naturaleza de los heurísticos? Se presentará principalmente la explicación que hace Pozo (1991) refiriéndose a varios autores como Tversky, Kahneman, Driver, Serrano y Piaget, entre otros. En la figura número 3 se presentan las cinco reglas de razonamiento causal identificadas por Pozo y algunos factores y observaciones relacionados con éstas.

### ***Accesibilidad***

Cuando a un estudiante se le pregunta cuáles son las causas más probables de un hecho, es muy frecuente que el alumno, dado un efecto, lo atribuya a aquella causa que resulte más accesible a su memoria, es decir, que recupere con mayor facilidad. Así, surge una primera regla que sería la *accesibilidad*, que estaría controlada por tres factores que influyen en la facilidad de recuperación de una idea: a) recencia , b) frecuencia y c) saliencia (Pozo, 1991).



**Figura Núm. 3** Reglas de razonamiento causal (heurísticos)

En primer lugar recuperamos un dato o una idea cuanto más recientemente la hayamos procesado o utilizado. Es muy común en los estudiantes, por ejemplo, hacer uso de una ecuación para la resolución de un problema, no porque sea la adecuada para resolverlo, sino porque se utilizó eficientemente en la resolución de otro problema similar, recientemente planteado. Este efecto de *recencia* en la recuperación de información de la memoria a largo plazo le confiere una cierta contemporaneidad a las concepciones del alumno, que en algunos casos cobran significado en la realidad social inmediata. No cabe duda de que los medios de comunicación social crean contemporaneidad, independientemente de su probabilidad objetiva: el SIDA es una enfermedad más probable subjetivamente que la hepatitis.

Otro efecto fundamental que influye en la accesibilidad de una idea es el de *frecuencia*, lo cual supone que es muy probable atribuir la causa de un hecho a aquellas ideas o acontecimientos a los cuales recurrimos con mayor frecuencia. Dado que la experiencia cotidiana de todas las personas no es exactamente igual, este factor puede producir ciertas

diferencias individuales en la explicación causal, en función de la pericia que se tenga en un área. En este sentido, la experiencia previa cobra vital importancia; si un alumno de pronto se encuentra con un problema de energía, y este concepto lo lleva manejando solamente desde hace unas cuantas clases, pues lo más probable es que no recurra a él para explicar ciertos fenómenos.

Probablemente se lograría un gran avance en la enseñanza de las ciencias si se incrementara el contacto con experiencias científicas a edades más tempranas. Con "experiencias científicas" se quiere decir que el alumno tenga la oportunidad de estar en contacto con acontecimientos y fenómenos que no ve tan claros en su vida cotidiana, pero que si están presentes. Que tenga la oportunidad de manipular un sistema y observar variaciones en los fenómenos bajo ciertas condiciones probablemente imposibles de lograr en un día cualquiera. Quizás en este momento no sería conveniente hacer definiciones formales, ni cálculos, sino solamente algunas reflexiones que puedan ir formando en el estudiante un concepto por inclusión (Hierrezuelo, 2002).

Sería interesante poder escuchar las reflexiones de algunos pequeños al observar la caída de una piedra y un pequeño pedazo de algodón, al mismo tiempo, en condiciones de vacío. O algo que es mucho más común, pero no a edades tempranas, como un vaso con agua invertido tapado con un pedazo de papel; poder obtener el soluto después de haberlo disuelto y que hubo desaparecido de nuestra vista, etc.

Lo anterior está sumamente ligado con el tercer y último factor que afecta a la recuperación de información; la *saliencia*. Este término nos habla del grado en que la información es destacada o sobresaliente. La saliencia de la información depende especialmente de la forma en que la recibimos y procesamos. Así, se ha demostrado que en las personas adultas la información percibida directamente, por ejemplo ver un accidente de tráfico o sufrir un atraco, afecta más a la persona que la información más abstracta, codificada conceptualmente como estadísticas sobre el número de accidentes de tráfico o de atracos. De tal forma que es la información más "vívida" la que se recupera más fácilmente, incrementando la probabilidad subjetiva de que ese fenómeno vuelva a ocurrir. Este efecto vendría a mostrar que las representaciones más abstractas se recuperan más difícilmente que las más concretas en contextos concretos y, obviamente, se vería incrementado en el caso de los niños y personas poco instruidas. De esta forma los alumnos parecen

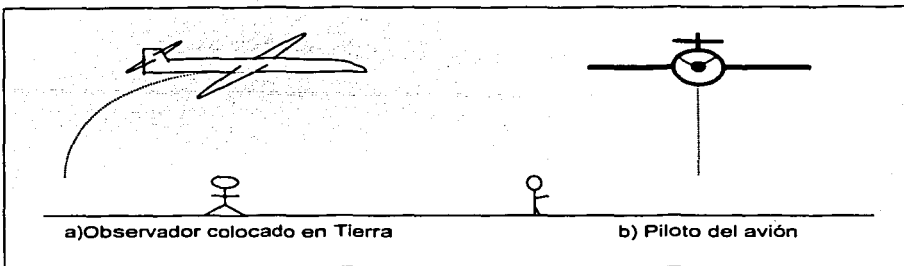
partir de una regla, basada en la accesibilidad, que afirmaría algo así como que *lo que no se percibe no se concibe* (Pozo, 1991).

### **Representatividad o semejanza**

Un segundo heurístico o segunda regla sería la de representatividad o de *semejanza*. Esta regla muestra que en nuestros análisis causales tendemos a creer que existe una semejanza básica entre las causas y los efectos, por lo cual ante un efecto novedoso tendemos a buscar causas similares a él en algunos aspectos. Los no expertos tienden a explicar los estados emocionales de las personas por causas emocionales, o la situación económica de un país por causas económicas, mientras que los expertos admiten una más compleja relación entre causas y efectos de naturaleza diferente (Pozo, 1991). Una consecuencia de esta regla será que tenderemos a atribuir a la realidad desconocida las propiedades de los modelos conocidos o más accesibles. Se genera así, una semejanza entre hecho y los modelos que lo explican.

Hierrezuelo (2002) reporta una serie de problemas que se derivan debido a las ideas previas sobre los sistemas de referencia: *como sabemos no existe el movimiento absoluto, todos son relativos al sistema escogido como referencia, y si bien esta idea es aceptada fácilmente por los alumnos, las cosas son muy distintas a la hora de asumir realmente que un movimiento es diferente según sea el sistema de referencia adoptado. Para los alumnos existe un sistema de referencia privilegiado que es aquel centrado en el propio observador, generalmente en reposo respecto a la Tierra y solidario con ésta; existe un arriba y un abajo absoluto hacia el que caen los cuerpos.*

*Así, la descripción del movimiento de caída libre de un proyectil lanzado desde un avión, tal como sería visto por un observador colocado en la Tierra o por el propio piloto del avión, plantea dificultades para los alumnos. En el primer caso, los alumnos describen una línea, no siempre en forma de parábola, pero que puede aproximarse a la trayectoria correcta para el observador en Tierra, pero los resultados son mucho peores cuando se les pide que dibujen la trayectoria vista desde el avión. Los alumnos tienen serias dificultades para imaginar que el piloto ve una trayectoria rectilínea para el descenso de la bomba, siempre claro está que el avión no cambie de dirección.*



**Figura. Núm. 4** Vistas de un proyectil lanzado desde un avión

Esta regla de semejanza tiene una segunda consecuencia, además de creer en ocasiones que las causas son de la misma naturaleza que los efectos observados, tendemos a creer muchas veces que existe una semejanza cuantitativa entre ambas: *a grandes causas, grandes efectos*. Así, un cambio en la cantidad de efecto se debe corresponder con un cambio similar en la cantidad de causa, y viceversa. Ante un recipiente de agua hirviendo, los alumnos creen que si incrementamos la intensidad del fuego aumentará en correspondencia la temperatura del agua (Pozo, 1991).

Briggs y Holding en "Aspects of secondary students understanding of elementary ideas in Chemistry" (1986) (citado en Hierrezuelo, 2002), presentan el siguiente estudio hecho con cerca de 300 alumnos de 15 años:

*Cuando 2 g de Zn y 1 g de S se calientan juntos se forma un compuesto que se llama sulfuro de cinc sin que sobre prácticamente nada ni de cinc ni de azufre.*

*¿Qué pasaría si 2 g de Zn se calientan con 2 g de S? Escoge la respuesta adecuada y explica tus razones:*

- a) *Se formará sulfuro de cinc conteniendo el doble de azufre.*
- b) *Se formará el doble de sulfuro de cinc.*
- c) *Se formará la misma cantidad de sulfuro de cinc que antes y quedará azufre sin reaccionar.*
- d) *Se formará la misma cantidad de sulfuro de cinc que antes y algo de cinc quedará sin reaccionar.*

*El 30% de los estudiantes daba una explicación adecuada. Entre las respuestas alternativas, había quien decía que el compuesto formado podría tener más proporción de azufre o que se formaría el doble de sulfuro de cinc, sin darse cuenta de que para que esto fuera correcto sería necesario agregar el doble de cinc, al mismo tiempo que el doble de azufre.*

La mayor parte de los autores coinciden en señalar que el razonamiento espontáneo de los alumnos sobre fenómenos científicos se basa en una *causalidad lineal y simple*, generada por asociaciones de semejanza cuantitativa. La complejidad de las relaciones causales se incrementa con la edad y la instrucción. El problema no sería solo que los alumnos tengan en cuenta un mayor número de factores para explicar un hecho, en vez de recurrir a una sola causa, sino también en la relación, aditiva o interactiva, que establecen tanto en las propias causas como en las causas y sus efectos. Los estudiantes suelen recurrir a explicaciones aditivas más que interactivas. Así, la oxidación o la combustión se explican no como una recombinación de átomos, sino como un proceso aditivo.

En un trabajo de investigación realizado por Valdez (1998) sobre "Ideas Previas en Estudiantes de Bachillerato Sobre Conceptos Básicos de Química Vinculados al Tema de Disoluciones", concluye lo siguiente:

- 1. Los conceptos de elemento, compuesto y mezcla, a pesar de reconocerlos como propios del lenguaje de la química, tienen una connotación de uso común. Así, el término elemento es utilizado como componente del sistema de disolución, el término compuesto como la unión de los integrantes del sistema y el término mezcla como el resultado de la composición de todos ellos.*
- 2. Se percibe en general un principio de conservación de la materia como sustancia, pero no así de la masa, la cual se confunde con densidad o con peso. Esta confusión tiene implicaciones sobre la concepción molecular de la materia al no atribuir características dinámicas a las moléculas.*
- 3. La disolución puede ser interpretada como un cambio de fase de sólido a líquido, atribuyendo al disolvente la propiedad de llevar a cabo esta transformación.*

*Es notorio también que no hay una concepción de sistema y de proceso o interacciones, así los estudiantes presentan dificultades para correlacionar otros aspectos con la influencia de propiedades de los sistemas y sus variaciones.*

### **Contigüidad**

La tercera y cuarta reglas de razonamiento estarían relacionadas con la *contigüidad*. Por un lado la *contigüidad espacial* entre causa y efecto; *cuanto más cerca, mayor es el efecto*. Y por otro lado la *contigüidad temporal*, según la cual no sólo estarían próximos en el espacio sino también en el tiempo. Esto plantea dificultades cuando los fenómenos que deben explicarse se inscriben en periodos notablemente largos. Hay que aclarar que esto cobra más significado en procesos biológicos y geológicos, donde la amplitud de los tiempos es notablemente mayor frente al mundo "más contiguo" de los cambios físicos y químicos.

### **Covariación**

La quinta y última regla que tiene que ver con el uso que las personas hacemos de la *covariación*, atribuir causalidad a los hechos que suceden sistemáticamente juntos. Dos hechos que no tienen relación entre si, pero si tienen una causa común, suelen relacionarse como causa-efecto siendo que es una simple concurrencia. De entre los métodos de razonamiento científico, el razonamiento correlacional es probablemente uno de los menos desarrollados, no sólo entre los alumnos adolescentes, sino también entre los adultos universitarios, estando sujeto a múltiples limitaciones y deficiencias (Pozo, 1991 citando a Perez Echeverría).

Es muy común la confusión que presentan los estudiantes entre los conceptos de calor (magnitud extensiva) y temperatura (magnitud intensiva) (Hierrezuelo, 2002):

- *Muchos sencillamente confunden los dos términos, "... la temperatura para mi es el calor...", aunque entre éstos algunos reservan el calor sólo para el caso de una temperatura alta, mientras que la temperatura si puede ser alta, media o baja.*
- *Alumnos un poco mayores, comienzan a diferenciar los dos conceptos, dejando para la temperatura el significado de una cierta medida del calor, "... la temperatura es la cantidad de calor...", "...es la medida del calor...", "...son los grados de calor..."*

Dada la complejidad de hacer un análisis correlacional o un análisis de covariación múltiple, tendemos a confiar por razones pragmáticas, en una regla más sencilla y superficial, como es la regla de covariación simple entre un hecho y un antecedente, aunque la verdadera causa fluya muchas veces por debajo de esa superficie en la que se quedan muchos análisis causales (Pozo, 1991).

A continuación se presenta una serie de heurísticos, detectados por algunos autores como: Pozo, Salinas, Cudnami, Baron y Otero entre otros, que suelen utilizar los alumnos en su razonamiento (Campanario, 2000):

- a) *Los alumnos tienden a explicar los cambios en los sistemas, no en los estados estacionarios.*
- b) *Cuando tiene lugar un cambio o una transformación, casi siempre se presta más atención al estado final que al inicial.*
- c) *Se tiende a investigar un sistema sólo cuando éste sufre algún cambio que se aparta de su funcionamiento normal. El principio que subyace a esta regla es que, si algo no se ha roto, no lo arregles.*
- d) *Se tiende a abordar los problemas de acuerdo con los conocimientos que más se dominan, no necesariamente con los más relevantes para su solución.*
- e) *Se tiende a concebir un estado de equilibrio como algo estático; los equilibrios dinámicos son difíciles de concebir.*
- f) *La causalidad lineal es con frecuencia la base del razonamiento de los alumnos. Entre causa y efecto suele haber mediadores.*
- g) *El principio de causalidad se suele utilizar de manera lineal siguiendo la regla a mayor causa, mayor efecto.*
- h) *Se intenta encontrar algún tipo de semejanza (en un sentido amplio) entre las causas y sus efectos.*
- i) *De entre las causas posibles de un cambio, se suelen tener en cuenta las más accesibles y aquellas que se recuperan más fácilmente de la memoria: las más recientes, las más cercanas espacialmente o las más frecuentes.*
- j) *Las causas que no se perciben directamente o se perciben con dificultad resultan difíciles de concebir y a menudo no se tienen en cuenta en el análisis de las situaciones abiertas.*



- k) Ante fenómenos desconocidos, se aplican modelos correspondientes a fenómenos conocidos con los que exista algún tipo de semejanza (en muchas ocasiones esta semejanza tiene que ver con factores irrelevantes del fenómeno, pero fácilmente perceptibles).*
- l) Se atribuyen propiedades anímicas a objetos o seres que no pueden tenerlas. Esta percepción, tan propia de los niños, se puede observar incluso en adultos.*
- m) Cuando en un fenómeno complejo varias causas actúan de forma interactiva, se tiende a concebir su efecto de manera aditiva.*
- n) Existen excepciones a todo tipo de reglas, incluso cuando las reglas son generales y sirven para todas las situaciones que pertenecen a una misma clase y los alumnos reconocen que ello es así. Esta pauta de razonamiento se puede asociar al dicho común no hay regla sin excepción.*
- o) Una acumulación de pequeñas explicaciones no totalmente satisfactorias constituye una explicación global aceptable.*

### **3.2.2 Las concepciones inducidas**

Las *concepciones inducidas* sería el segundo grupo de ideas previas presentes en los alumnos, pero este tipo de ideas, a diferencia de las de origen sensorial o espontáneo (que como ya vimos surgen de una tendencia natural a explicaciones sencillas y prácticas) se hacen presentes a partir de la realidad que vive el alumno en un contexto social que induce o favorece cierto tipo de ideas. Entre las fuentes socioculturales del conocimiento del estudiante cabe destacar no sólo a la familia y el sistema educativo, sino también la creciente influencia de los medios de comunicación en la formación de concepciones a través de la divulgación científica (Pozo, 1991).

Un factor importante en la formación de concepciones inducidas es el lenguaje. El lenguaje diario utilizado en nuestra sociedad, y a veces en las clases, a menudo conduce a los estudiantes a tener puntos de vista diferentes a los de los científicos. Un ejemplo claro se produce con el uso de la palabra energía. Expresiones como consumo de energía, producción de energía, gasto de energía, no ayudan precisamente a la comprensión del principio de conservación de la energía (Hierrezuelo, 2002).

Para algunos alumnos, el frío tiene una existencia material como algo diferente al calor. Son dos sustancias antagónicas que al mezclarse neutralizan sus efectos. Esta manera de entender el frío concuerda bastante con el significado que se le atribuye en el lenguaje cotidiano: "...cierra la puerta que no entre frío...", "...cierra la puerta del refrigerador para que no se salga el frío..." (Hierrezuelo, 2002)

Por su parte los profesores aspiran a que los estudiantes entiendan los conceptos y procesos tal como la ciencia los concibe. El lenguaje empleado puede ser transparente para el profesor, que tiene un gran número de experiencias y de redes conceptuales que las explican, pero no tanto para el estudiante, que habitualmente no conoce ni las experiencias ni muchas de las conexiones entre los conceptos. Por ello el lenguaje puede llegar a ser incluso un obstáculo para la formación de nuevos marcos teóricos (Gómez-Moliné, 2000). La ciencia está formada por conceptos que no pertenecen a la vida cotidiana y ha tenido que desarrollar su propio lenguaje con nuevas palabras, como gas, molécula, orbital o campo magnético, que actualmente son del dominio público y son utilizadas aún en contextos no científicos.

Por lo tanto, es preciso que el profesor tenga cuidado al escoger el lenguaje y hacer las aclaraciones necesarias, pues muchas veces una idea que se expresa con algunas palabras lleva implícita una serie de conceptos y supuestos que se pueden pasar por alto durante una explicación en el aula. Cuando el profesor dice que el agua está formada por oxígeno e hidrógeno, en su mente está clara la constitución de moléculas de agua; si un estudiante carece de ideas adecuadas sobre átomos y moléculas, probablemente interprete las palabras del profesor imaginando una mezcla de átomos de hidrógeno y oxígeno.

Así pues, el lenguaje es un factor importante en la enseñanza de las ciencias. Es preciso determinar cuales son las dificultades que se presentan por el uso de lenguaje cotidiano y del lenguaje científico y algunas características de las ideas inducidas. Aunque algunos de estos aspectos se han mencionado en párrafos anteriores, se considera oportuno precisarlos. Cabe aclarar que en este momento nos referimos al lenguaje científico como el lenguaje verbal que implica ciertos términos poco comunes en el vocabulario cotidiano, y

no al lenguaje científico entendido como lenguaje algebraico o lenguaje gráfico, los cuales se abordarán más adelante.

En resumen, las dificultades son (Gómez-Moliné, 2000):

- a) *Se produce interferencia entre el sentido cotidiano y el sentido científico, ya que la ciencia toma frecuentemente palabras del lenguaje común dotándolas de nuevos significados, más o menos próximos al originario, lo cual crea múltiples confusiones. Palabras como "precipitado" o "elemento", cobran sentido diferente en lenguaje cotidiano que en lenguaje científico.*
- b) *También ha influido el cambio de significado de las palabras en el transcurso de la evolución de la ciencia. Por ejemplo la palabra éter ha pasado de ser, en la física, "un fluido imponderable y elástico que se supone que llena el espacio etc...", a ser en la química el nombre de un compuesto químico orgánico.*
- c) *La dificultad de comprender los patrones semánticos de la ciencia que tienen muchos alumnos es menos sorprendente si consideramos la sutileza de las pistas lingüísticas que tienen que seguir. Habitualmente se pide a los estudiantes que expliquen hechos observables utilizando conceptos, ideas, entidades no observables, frente a un fenómeno que sorprende, y que el sentido común explica de determinada manera. Ver figura número 5 sobre el Iceberg de Ogborn.*
- d) *El lenguaje de la ciencia falsea la imagen de la ciencia. En la enseñanza se tiende a prescindir de los estadios tentativos de la ciencia, las etapas de discusión y consenso. Se da a conocer únicamente el producto final del proceso, reforzando la imagen de la ciencia como un conjunto de hallazgos fortuitos y mágicos. Al comunicarla sólo como algo construido y acabado, con un lenguaje ya despersonalizado, se oculta la etapa clave del proceso, la que pone de relieve el esfuerzo imaginativo y de construcción laboriosa que lleva a cabo el científico.*

La experiencia de aprendizaje no se da entre cerebros. Se da entre personas en su totalidad, de aquí que convenga emplear el mayor número de canales de comunicación para garantizar la comprensión (Córdova, 1998c). Ya lo había propuesto James Clerk Maxwell: *No hay método más poderoso para introducir conocimiento en la mente que presentarlo de cuantas maneras diferentes se pueda. Cuando las ideas, después de penetrar por dife-*

rentes entradas se reúnen en la ciudadela de la mente, la posición que ocupan se torna inexpugnable.

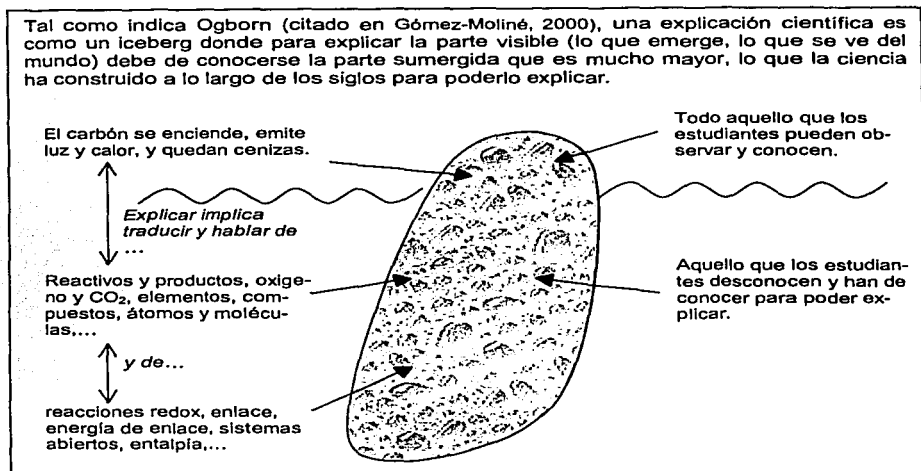


Figura Núm. 5 El iceberg de Ogborn

### 3.2.3 Las concepciones análogas

Por último se tienen las *concepciones análogas*. Este tipo de concepciones surgen del supuesto de que hay algunos dominios en los que las personas carecemos de ideas. Pero desde el punto de vista de la psicología cognitiva, es imposible comprender algo sin activar alguna idea o esquema en la que asimilar la nueva información, pero ello no significa que dispongamos de ideas específicas para todos los dominios. Lo que solemos hacer ante un dominio nuevo es activar, por analogía o similitud, un esquema o una idea correspondiente a otro dominio que nos sirve para comprender la nueva situación (Pozo, 1991).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Así pues, algunas ideas espontáneas son reforzadas por el inapropiado uso de analogías en el medio escolar. Esto no quiere decir que la analogía no pueda ser un recurso para la enseñanza, pero sí habría que hacer algunos señalamientos para evitar que su efecto sea contraproducente. El uso de analogías basadas en similitudes superficiales, en vez de analogías estructurales o conceptuales, puede tener un efecto limitado sobre la comprensión de la ciencia.

El primer señalamiento sería que hay dos tipos de analogías que se pueden generar: las analogías de *criterio superficial* y las de *criterio conceptual*. Las primeras, generalmente desarrolladas por los alumnos, se basan en similitudes de rasgos perceptivos, mientras que las analogías de criterio conceptual buscan la similitud en los conceptos que requiere una tarea para su solución (Pozo, 1991).

La segunda distinción que haremos, es que no se puede utilizar una analogía para la enseñanza de nuevos conceptos sin destacar además de las similitudes también las diferencias, pues se puede cometer el error de transponer los modelos sin identificar la singularidad de cada uno. Una analogía puede servir como una referencia de algo conocido que facilita el acercamiento a algo desconocido gracias a ciertas semejanzas, no a la repetición idéntica de un modelo.

En su artículo "*Propuesta para la enseñanza de equilibrio químico*" Rocha (2000) indica que una de las razones por las cuales se dan interpretaciones alternativas en el aprendizaje del equilibrio químico, es la utilización de analogías para explicar el equilibrio dinámico por parte de los docentes y de los libros de texto. Los alumnos que ingresan a la universidad no tienen, en general, preconcepciones directamente vinculadas con el equilibrio químico, pero sí poseen alguna idea sobre el equilibrio estático, elaborada en el contexto de la mecánica, e ideas sobre otros conceptos relacionados que influyen en el aprendizaje.

### **3.4 Habilidades y actitudes para la adquisición de conocimiento científico.**

Como ya se ha mencionado, hay muchas investigaciones dedicadas al estudio y comparación entre el conocimiento común y el conocimiento científico, donde se destaca una sustancial diferencia entre los modos de interpretación del hombre común, también denominado "novato", respecto a los del especialista o científico. Estas investigaciones han revelado la existencia de una organización compleja de hábitos mentales que son consolidados por la práctica cotidiana, podríamos mencionar los heurísticos y las ideas previas como elementos importantes dentro de esta organización de hábitos, que además se van consolidando por su funcionalidad. Estos hábitos mentales prevalecen sobre la disposición a adoptar una actitud científica, la escuela tiene la responsabilidad de promover, ejercitar y alentar esta disposición (Bandiera, 1995)

El logro de habilidades básicas, tales como: la lectura de textos científico, la habilidad de transposición de lenguajes; del lenguaje verbal al lenguaje algebraico y gráfico y viceversa; y también las habilidades para interpretar datos experimentales, debería ser un objetivo fundamental de un proyecto didáctico y encararse sistemáticamente desde los primeros años de escolaridad (Bandiera, 1995)

Si el desarrollo de habilidades, como las mencionadas anteriormente, debe tomar un papel más importante dentro del proceso de enseñanza de las ciencias, entonces esto se deberá considerar en el desarrollo de material curricular. Una de las principales preocupaciones por parte de los maestros, que impide la implementación de nuevas estrategias de enseñanza es que: si invierte tiempo en clase para ejercicios de aprendizaje activo, nunca va a poder cubrir el programa que se le exige (Felder, 1998). De esta manera se está favoreciendo a los contenidos por sobre el desarrollo de habilidades, lo cual implicaría una enseñanza centrada en el alumno, donde éste se responsabilizara de su aprendizaje.

En "Una Investigación Sobre Habilidades Para el Aprendizaje Científico" Bandiera (1995) concluye:

- *La fisonomía del estudiante que se inscribe a la universidad, valorada respecto del proceso de transformación en "especialista", es muy parecida al del "hombre o mujer común" por muchas razones: prefiere afrontar pragmáticamente problemas*

*concretos antes que empeñarse en la realización de actividades de formalización. Y por otro lado, recurre selectivamente a su experiencia personal, aun disponiendo de datos más generales y en buena medida válidos, cuando se le pide que se refiera exclusivamente a esos datos.*

- *A la exigencia de concreción manifestada por los estudiantes se agrega la predilección por los hechos, que se traduce en mejores rendimientos allí donde las consignas implican un grado medio-bajo de inferencia, extrapolación y generalización.*
- *Respecto a las habilidades básicas (leer, escribir y hacer cálculos), es evidente el escaso dominio de los instrumentos de lectura, que orientan la atención y el interés, que garantizan una "lectura puntual" eficaz y la transforman en "lectura inteligente". Favoreciendo, entonces, la práctica de la memorización pasiva y de la aplicación automática de reglas y fórmulas.*
- *También la escritura en los lenguajes algebraico y gráfico evidencia grandes carencias en cuanto a su planificación y práctica. Así mismo, el hacer cálculos muestra las carencias en las capacidades de formular elaboraciones relacionadas con los datos, conceptualmente significativas y rigurosamente lógicas.*

Por otro lado, sería oportuno preguntarnos ¿qué valor tienen, dentro de los currículos y dentro de las metodologías adoptadas para la enseñanza de la ciencia, aspectos como la imaginación y la creatividad? Einstein afirmaba: "la imaginación es más importante que el conocimiento".

Como se verá más adelante, algunos métodos y estrategias para la enseñanza de las ciencias, no han favorecido el desarrollo la imaginación y la creatividad como elementos fundamentales de la ciencia. Muchos estudiantes, después de algunos años en un sistema, adoptan la posición de "receptor" de información, "el maestro ordena", él espera "las recetas" (Córdova, 1998a). Lo importante no es la construcción de conocimiento sino dar la respuesta correcta, lo importante no es la capacidad de aprender, generar ideas y cuestionarlas, sino pasar un examen u obtener el grado. Así, para el alumno, "explicar" es, frecuentemente, referirse a un conjunto de instrucciones del maestro, del compañero o del libro (Córdova, 1998b).

Podríamos suponer, por la naturaleza práctica de las ingenierías, que en estudiantes de estas licenciaturas el obstáculo es aún mayor. Es decir, en lo que se ha puesto mayor

atención dentro de asignaturas de ingeniería o en asignaturas relacionadas a nivel medio superior, no es precisamente en modificar las ideas previas de los estudiantes para la adquisición de un conocimiento científico correcto, sino en la obtención de un resultado correcto, estimulando una conducta mecánica donde la aplicación de la fórmula correcta para el diseño de un reactor o de un intercambiador de calor, por poner un ejemplo, es lo más importante. Esto, con el absurdo de que el egresado se encuentra con una computadora que puede diseñar, con un mínimo de datos, el intercambiador o el reactor ideal.

Quizás sea importante cuestionar si no se ha abusado, dentro del sistema educativo, de la resolución de problemas tipo "libro de texto", donde el objetivo pareciera ser *atinarle* a la fórmula o al esquema de resolución, ya desarrollado por otros, con el cual el problema desaparece. En este caso, la respuesta o la resolución no es creativa sino mecánica y que además no responde a las necesidades de un país con una situación precaria en tecnología.

Es una responsabilidad de las instituciones académicas, formar científicos e ingenieros que respondan de manera creativa y con un trabajo interdisciplinario a las demandas tecnológicas y necesidades básicas de nuestro país. Los problemas de energía, de servicios y de contaminación o deterioro ambiental, entre otros, exigen modelos nuevos de desarrollo con tecnologías alternativas y limpias, siendo la creatividad un factor fundamental para el desarrollo de estas.

Ruy Pérez Tamayo en "Palabras Académicas" (1994) propone dos concepciones de ciencia que no son opuestas, sino complementarias: la primera es la ciencia como actividad creativa y esencialmente imaginativa donde el científico participa en una gran aventura intelectual. Y por otro lado, la ciencia como una actividad esencialmente crítica y analítica, donde el científico exige un examen riguroso de los datos antes de emitir una opinión.

La enseñanza de la ciencias, debería entonces, resaltar la importancia de la generación de ideas, del cuestionamiento y especulación creativa, tanto como la rigurosidad de un método. El problema, dice Pérez Tamayo, es *que no se sabe cómo se generan las buenas ideas*. Para L. Pauling, el secreto está en producir muchas ideas y solamente quedarse con las buenas.

En cuanto a la formación de ingenieros y en especial de ingenieros químicos, podemos destacar la necesidad de nuevas estrategias que favorezcan el desarrollo de habilidades



para integrarse a un medio que exige: capacidad para integrar aportaciones de varias ciencias o disciplinas para resolver un problema; manejo de incertidumbre en las decisiones; contribución al desarrollo tecnológico teniendo presente el entorno social; generación de resultados prácticos y rentables económica y socialmente; flexibilidad para adaptarse al cambio; trabajo en equipo responsable, crítico y creativo (Rugarcía, 1998b).

Quizás una de las habilidades más importantes a desarrollar en estudiantes de ingeniería química, frente al cambio acelerado y la gran cantidad de información a la que se tiene acceso, es la capacidad de selección de información así como la capacidad de estar en capacitación y educación continua, "aprender a aprender". Es evidente la necesidad de conocimientos básicos para la resolución de problemas "prácticos", pero se debe reconocer que los conocimientos específicos se adquieren en la práctica y se debe tener la disposición y habilidad para adquirirlos debido a los cambios que va generando el avance en el conocimiento científico mundial.

*"Es así como el desarrollo de habilidades se convierte en un asunto medular en la formación de ingenieros o de cualquier profesional cuya función sea aplicar el conocimiento o resolver problemas. Las habilidades son las que resuelven los problemas y no sólo los conocimientos como generalmente se cree... Habilidades y conocimientos son sinérgicos: se demandan uno del otro, se complementan con la acción en la práctica."* (Rugarcía, 1998b)

## **CAPITULO IV**

### **Segundo Nivel**

#### **Cambio entre Distintos Paradigmas Científicos**

#### **4.1 Concepciones epistemológicas**

Además de las ideas previas, que son preconcepciones acerca de los fenómenos en sí y sus causas, los estudiantes tienen y van formando a lo largo de su preparación académica concepciones acerca de la ciencia y del conocimiento científico. Esto es, los alumnos tienen sus propias concepciones epistemológicas, y éstas pueden, al igual que las ideas previas, ser un apoyo o un gran impedimento para el aprendizaje significativo de las ciencias, por lo que es fundamental para el docente conocer estas concepciones .

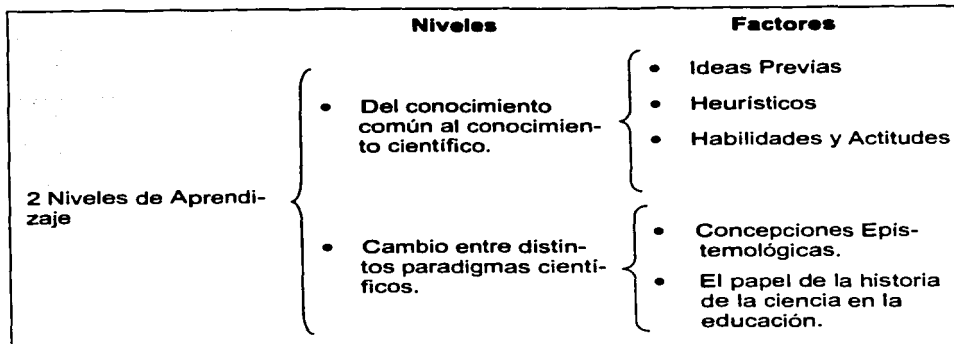
Junto con el estudio de las ideas previas, las concepciones epistemológicas nos conducirán a un análisis sobre las diferentes tendencias educativas que se han dado en los últimos años, y que han sido resultado del intento por considerar estos aspectos y optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

La didáctica de las ciencias ha tenido un gran desarrollo en los últimos años, a saber: los proyectos de enseñanza por descubrimiento, los basados en la escuela de Piaget, y los realizados en los últimos años sobre constructivismo y el cambio conceptual.

No cabe duda de que, en muchos aspectos, esta influencia ha sido positiva, abriendo los modelos de aprendizaje de la ciencia a cuestiones vinculadas con la historia y la cultura e incorporando elementos que superan la construcción puramente lógica del conocimiento científico (Cudnami, 1997)

Nos encontramos pues, en un punto donde los dos niveles de aprendizaje de los que se ha hablado anteriormente, convergen, ya que las concepciones epistemológicas pueden ser un importante factor que obstaculice la adquisición de conocimiento científico a partir del conocimiento común. O bien, desde un análisis más sutil, estas concepciones pueden ser determinantes en la formación científica del estudiante desde un aspecto de cambios entre distintos paradigmas científicos (segundo nivel), en el sentido de que las concepciones epistemológicas encierran una serie de actitudes frente al quehacer científico y el aprendizaje de la ciencia.

En la figura número 6, se muestran los dos niveles de aprendizaje de los que se ha hablado en esta investigación, y los que se han considerado como sus factores más importantes en el proceso de enseñanza aprendizaje. Cabe mencionar que la división, tanto



**Figura Núm. 6** Niveles de aprendizaje y factores correspondientes

de los dos niveles de aprendizaje como de sus factores, se ha hecho con la finalidad de facilitar la exposición, pero todo ello tiene una estrecha relación que lo convierte en una compleja realidad que abordar. En el aula y en cada estudiante, así como en el profesor de ciencias, todos estos factores convergen formando una unidad que habrá que atender como tal. Muchas veces una sola pregunta de un estudiante puede revelar la existencia de ideas sobre los fenómenos y concepciones sobre la ciencia equivocadas.

Es interesante comprobar que existe un evidente paralelismo entre algunas de las concepciones de los alumnos sobre la ciencia y la naturaleza del conocimiento científico y ciertas concepciones que tuvieron cierta influencia, en el pasado, en la filosofía de la ciencia (Campanario 2000, Matthews 1994, Solaz 1998, Pedrinaci 1994). Las concepciones epistemológicas de los alumnos evolucionan a medida que avanzan en el sistema educativo. Incluso los modelos utilizados en didáctica de la ciencia también tienen raíces en la filosofía de la ciencia (Mellado, 1993).

Podríamos pensar entonces, como analogía con la historia de la ciencia, donde por muchos años dominó el paradigma newtoniano hasta que fue cuestionado y superado por la mecánica cuántica y relativista, el proceso de un estudiante que después de haber comprendido y manejado por algún tiempo la mecánica clásica se le presenta como tema de estudio la mecánica cuántica o relativista.

A diferencia de lo que ocurre cuando se aplica la didáctica de las ciencias a la enseñanza de los conceptos básicos de la física, en este caso no cabe afirmar que partimos de un paradigma conceptual abierto o necesariamente falso. En efecto, de donde se parte es del conjunto de ideas de la física newtoniana, las cuales han sido asumidas por los alumnos como extraordinariamente adecuadas y exitosas en la explicación de la naturaleza, obtenidas a lo largo de los cursos precedentes (Alemañ, 2000). Ya no se trata, pues, de una mera sustitución de conocimiento "vulgar" por conocimiento "científico", sino más bien de la presentación de una teoría más potente y abarcadora capaz de incluir en su seno las teorías antecesoras.

El aprendizaje de la mecánica relativista, desde luego, no debe conllevar el menosprecio de la mecánica newtoniana tan fructífera y útil en numerosos problemas cotidianos y científicos. En esta línea, por tanto, los alumnos deben concebir el aprendizaje de nuevas teorías científicas como el enriquecimiento de un abanico de opciones entre modelos alternativos, cuyo poder explicativo resulta ser progresivamente creciente, aunque sin desechar por erróneo ninguno de ellos.

Para tener un mejor acercamiento con lo que son las concepciones epistemológicas mencionaremos algunos ejemplos tomados de *"Mas allá de las ideas previas..."* de Campanario (2000), citando a diversos autores.

- a) *Los alumnos tienden a considerar que el conocimiento científico está fundamentado principalmente en el estudio objetivo de determinados hechos. Según esta creencia, el papel de la observación en la producción del conocimiento científico sería fundamental. Este conocimiento se acercaría cada vez más con el paso del tiempo a la verdad absoluta y se articula en torno a leyes que existen independientemente de que los científicos las descubran o no. Pocos alumnos se refieren a reformulaciones globales del conocimiento científico como una de las características de la ciencia.*
  
- b) *Por otra parte, el conocimiento científico, en general, y el relativo a la física, en particular, se conciben a veces como una construcción de fórmulas y símbolos que se refieren a los conceptos que los articulan. En general, la física se concibe como*

*un conjunto de elementos separados sin que se espere una coherencia global ni se necesite. De hecho, la mayoría de los alumnos piensa que la física estaría orientada hacia resultados específicos, más que hacia principios generales.*

- c) En lo que se refiere al trabajo experimental, es común entre los alumnos una visión ritualista del mismo, en vez de considerarlo una actividad racional relacionada directamente con la producción del conocimiento.*

Pero al igual que las ideas previas, las concepciones epistemológicas tienen un origen, y se van formando y evolucionando en la mente de los estudiantes por diversos factores. Según Hodson, las experiencias escolares que influyen en las concepciones de los alumnos son de dos tipos: las planificadas explícitamente y las que no lo son (Hodson, 1994). Los libros de texto con frecuencia presentan mensajes explícitos sobre la naturaleza de la ciencia y otras veces los profesores ponen énfasis en determinados aspectos de la ciencia. Sin embargo, lo más frecuente es que los mensajes sobre la naturaleza de la ciencia se transmitan de manera implícita a través del lenguaje, las actividades de instrucción, el material bibliográfico, etc.

Por otro lado, una posible causa del origen de las concepciones epistemológicas que mantienen los estudiantes, sería la influencia explícita o implícita del profesor, en la organización y desarrollo de las clases, en los métodos de enseñanza o en las pautas de trabajo y transmisión del conocimiento científico en las clases teóricas, resolución de problemas y trabajo de laboratorio. Dado que con frecuencia el conocimiento científico se presenta a los alumnos como un conjunto completo de hechos probados y verdades absolutas, no resulta sorprendente que estos tengan dificultades en analizar y someter a crítica los contenidos científicos (Campanario, 2000).

Como se puede ver, el origen de las concepciones epistemológicas no se reduce a factores simples, sino a toda una estructura de enseñanza donde tanto lo implícito como lo explícito, lo cotidiano y lo extraordinario, el lenguaje, los trabajos etc.. van formando en el estudiante una idea de lo que es la ciencia, lo que trae como consecuencia actitudes positivas o negativas sobre el quehacer científico y su aprendizaje. Así pues, la estructura de enseñanza, o mejor dicho la corriente o tendencia epistemológica utilizada dentro de un

sistema educativo, es origen también de las concepciones que los alumnos se van formando acerca de la ciencia y el conocimiento científico.

Algunas concepciones erróneas sobre el trabajo científico que pueden ser transmitidas, explícita o implícitamente, por la enseñanza de las ciencias son (Gil, 1993):

- **Visión empirista y ateórica:** *Se resalta el papel de la observación y de la experimentación "neutras" (no contaminadas por ideas apriorísticas), olvidando el papel esencial de las hipótesis y de la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos (teoría).  
Por otra parte, pese a esta importancia dada (verbalmente) a la observación y experimentación, la enseñanza general, es puramente libresco, sin apenas trabajo experimental.  
Se incide particularmente en esta visión ateórica cuando se presenta el aprendizaje de la ciencia como una cuestión de descubrimiento o se reduce a la práctica de los procesos con olvido de los contenidos.*
- **Visión rígida (algorítmica, exacta, infalible):** *Se presenta el "método científico" como conjunto de etapas a seguir mecánicamente. Se resalta, por otra parte, lo que supone tratamiento cuantitativo, control riguroso, etc., olvidando —o incluso rechazando— todo lo que significa invención, creatividad, duda.*
- **Visión apromblemática y ahistórica (ergo dogmática):** *Se transmiten conocimientos ya elaborados, sin mostrar cuáles fueron los problemas que generaron su construcción, cuál ha sido su evolución, las dificultades, etc., ni mucho menos aun, las limitaciones del conocimiento actual o las perspectivas abiertas.*
- **Visión exclusivamente analítica:** *Se resalta la necesaria parcialización de los estudios, su carácter acotado, simplificador, pero que olvida los esfuerzos posteriores de unificación y de construcción de cuerpos coherentes de conocimiento cada vez más amplios, el tratamiento de problemas "frontera" entre distintos dominios que pueden llegar a unirse, etc.*
- **Visión acumulativa, lineal:** *Los conocimientos aparecen como fruto de un crecimiento lineal, ignorando las crisis, las remodelaciones profundas. Se ignora, en particular, la discontinuidad radical entre el tratamiento científico de los problemas y el pensamiento ordinario.*

- **Visión de "sentido común":** Los conocimientos se presentan como claros, obvios, "de sentido común", olvidando que la construcción científica parte, precisamente, del cuestionamiento sistemático de lo obvio. Se contribuye implícitamente a esta visión cuando se practica el reduccionismo conceptual, es decir, cuando se presenta el paso de las concepciones alternativas de los alumnos a los conocimientos científicos como simple cambio de ideas, sin tener en cuenta los cambios metodológicos que exige dicha transformación, a saber, al ignorarse las diferencias substanciales que existen entre el pensamiento de sentido común y el tratamiento científico de los problemas.
- **Visión "velada", elitista:** Se esconde la significación de los conocimientos tras el aparato matemático. No se hace un esfuerzo por hacer la ciencia accesible, por mostrar su carácter de construcción humana, en la que no faltan ni confusión ni errores... como los de los propios alumnos. En el mismo sentido, se presenta el trabajo científico como un dominio reservado a minorías especialmente dotadas, transmitiendo expectativas negativas hacia la mayoría de los alumnos, con claras discriminaciones de naturaleza social y sexual (la ciencia es presentada como una actividad eminentemente masculina)
- **Visión individualista:** Los conocimientos científicos aparecen como obra de genios aislados, ignorándose el papel del trabajo colectivo, de los intercambios entre equipos... Se deja creer, en particular, que los resultados de un solo científico o equipo pueden verificar o falsear una hipótesis.
- **Visión descontextualizada, socialmente neutra:** Se olvidan las complejas relaciones C/T/S (Ciencia, Tecnología y Sociedad) y se proporciona una imagen de los científicos como seres "por encima del bien y del mal", encerrados en torres de marfil y ajenos a las necesarias tomas de decisión. Cuando, en ocasiones, se tienen en cuenta interacciones C/T/S, se suele caer en visiones simplistas: exaltación beata de la ciencia como factor absoluto de progreso o rechazo sistemático (a causa de su capacidad destructiva, efectos contaminantes, etc.)

Es importante resaltar el importante papel que juega el profesorado para que un modelo de enseñanza se haga realidad. Las creencias, concepciones, supuestos o teorías que los profesores mantienen a la hora de enfrentarse a su práctica educativa van a ser determinantes. Si las concepciones que el profesorado sostiene acerca de la disciplina que enseña, cómo se produce el aprendizaje en el alumno y cómo se diseña y se desarrolla la en-



señanza no son coherentes con el modelo didáctico adoptado para llevar a cabo su intervención en el aula, los resultados nunca serán los esperados (Baena 2000).

Las principales tendencias epistemológicas que se han desarrollado en los últimos años como: enseñanza por descubrimiento, constructivismo, cambio conceptual y cambio conceptual y metodológico o aprendizaje como investigación, tendrán que ser presentadas y analizadas para encontrar su influencia sobre las concepciones epistemológicas de los estudiantes. Ésta será la tarea de las próximas páginas de esta investigación.

#### **4.1.1 El aprendizaje por transmisión-recepción.**

Las posiciones positivistas empiristas consideran que el conocimiento es acumulativo y la verdad científica se descubre aplicando un procedimiento objetivo y riguroso que se conoce como el método científico (Mellado, 1993). Esta es la base de dos concepciones didácticas, aparentemente distintas, pero con la misma raíz:

1. Si la ciencia es un cuerpo de conocimiento, formado por hechos y teorías que se consideran verdaderos, entonces hay que transmitir a los estudiantes la verdad científica. Esto conduce a una *enseñanza como transmisión* de conocimientos elaborados, cuyo principal soporte es el libro de texto.
2. Por otro lado, si el conocimiento se descubre aplicando el método científico, entonces hay que enseñar a los estudiantes a realizar buenas observaciones y a través de ellas y por inducción, llegarán a descubrir las leyes de la naturaleza. Este es el principio de la *enseñanza por descubrimiento* autónomo.

Esta posición ha sido rechazada por la mayoría de las corrientes contemporáneas de filosofía de la ciencia y han sido superadas por otros modelos, aunque en la práctica todavía tenga bastante aceptación y sean modelos didácticos en práctica.

En una investigación realizada por Brickhouse sobre como influyen las concepciones del profesor en los estudiantes, encontró que uno de los profesores que tenía concepciones

positivistas empiristas, lo reflejaba en el aula teniendo como consecuencia una separación real en el aprendizaje de los estudiantes de los procesos y de los productos de la ciencia: los procesos los aprendían en el laboratorio aplicando el método científico, mientras que los productos, los hechos y teorías, los aprendían en el aula a través del libro de texto y de la explicación del profesor (Mellado, 1993).

El aprendizaje por *transmisión-recepción*, mejor conocido como método tradicional, consiste en la transmisión verbal de conocimientos ya elaborados, traspasados a la mente del alumno a través de descripciones orales o escritas en el pizarrón o en los libros. Se "pensaba" que una enseñanza fundamentalmente descriptiva de los fenómenos y de los seres vivos, basada en la memorización, era suficiente para despertar el interés y la creatividad de los estudiantes (Gómez-Moliné, 1996).

Como ya se mencionó, sus fundamentos epistemológicos consideran que la ciencia es un cuerpo cerrado de conocimientos que no se modifican y que crece por acumulación. Estos conocimientos científicos son considerados como una imagen exacta de la realidad.

Desde el punto de vista de la psicología corresponde al modelo conductista, donde el profesor es concebido como un tecnólogo de la educación, un ingeniero conductual, que aplica las contingencias de reforzamiento para producir el aprendizaje de sus alumnos. Su tarea consiste básicamente en estar continuamente monitoreando el rendimiento de sus estudiantes y corrigiendo sus respuestas. Por su parte, el educando es concebido como el objeto del acto educativo, en cuanto es el receptor de todo el proceso instruccional diseñado por el maestro (Guzmán, 1993).

A pesar de que los defensores de este modelo, en una forma modificada denominada *modelo por transmisión significativa*, como Ausubel y Novak, frente al modelo de aprendizaje por descubrimiento, ya dan especial importancia a los conocimientos previos de los alumnos, ideas previas, así como al papel del profesor como guía y facilitador de un aprendizaje significativo, son notables las incoherencias entre el modelo y la actividad científica. Puesto que el profesor es el encargado de proporcionar el conocimiento para ser almacenado por el alumno, en una concepción de *tabula rasa*, se niega al alumno la participación en la construcción de conocimiento. Lo cual es completamente contrario al quehacer científico.

De esta forma, el modelo de aprendizaje por transmisión-recepción no sólo se muestra incapaz de lograr una apropiación de los conceptos realmente significativa, sino que contribuye a las visiones deformadas y empobrecidas que los alumnos adquieren sobre el trabajo científico y que son responsables, en gran medida, de las actitudes negativas hacia la ciencia y su aprendizaje.

Así, como indica Campanario (1999a), citando a Calatayud, Gil y Gimeno, este modelo tiene su fundamento en unas suposiciones inadecuadas:

- a) *Enseñar es una tarea fácil y no requiere una especial preparación.*
- b) *El proceso de enseñanza-aprendizaje se reduce a una simple transmisión y recepción de conocimientos elaborados.*
- c) *El fracaso de muchos alumnos se debe a sus propias deficiencias: falta de nivel, falta de capacidad, etc.*

#### **4.1.2 El aprendizaje por descubrimiento**

Este modelo está encuadrado en un marco empirista y positivista y parte de la premisa de que imitando el "método científico", mediante el cual presuntamente avanza la ciencia, el alumno podía, no sólo asimilar los contenidos, sino también convertirse en un científico. "Aprender ciencia es, sobre todo, dominar las destrezas o procesos del método científico, puesto que aplicando éstas a cualquier situación se llegan a descubrir los conocimientos". El núcleo de estos argumentos es la idea de que conceptos y principios científicos se obtienen operando con procesos, como observar, clasificar, extraer conclusiones y formular hipótesis.

Las evaluaciones hechas a finales de los años setentas sobre los resultados de numerosos proyectos sobre enseñanza de las ciencias, demostraron que si bien había habido un mayor interés por las ciencias, no se alcanzaban las metas deseadas y se destacaban muchos errores en conceptos básicos. Las investigaciones llevadas a cabo por Kuhn, Toulmin y Lakatos obligaron a replantearse la necesidad de un nuevo modelo epistemológico.

gico. Así, aparece un nuevo enfoque de enseñanza que da origen a los modelos conocidos como "constructivistas" (Gómez-Moliné, 1996).

La corriente de aprendizaje por descubrimiento intentó desarrollar plenamente la idea de que los estudiantes debían familiarizarse con las actividades del trabajo científico para poder comprender los conocimientos alcanzados. Con esta implicación de los alumnos en actividades científicas, se pretendía proporcionar una visión abierta y accesible de la ciencia, favoreciendo una actitud más positiva hacia la misma, así como llamar explícitamente la atención sobre la especificidad y efectividad de sus métodos. Y, si bien es cierto que los resultados alcanzados distaron mucho de los objetivos perseguidos, la orientación de aprendizaje por descubrimiento supuso un intento sistemático de renovación curricular que rompía con una estabilidad de muchas décadas e iniciaba un proceso de transformación en el que seguimos hoy inmersos, sin que los objetivos de aproximar la actividad de los alumnos a las características del trabajo científico y, sobre todo, de generar actitudes positivas hacia la ciencia y su aprendizaje, hayan perdido su vigencia (Gil, 1993)

Cabe preguntarse si el aprendizaje por descubrimiento tiene algo que aportar hoy día a la enseñanza. A pesar de sus muchas limitaciones, este enfoque tiene algunos aspectos positivos aprovechables en la enseñanza de las ciencias experimentales. Por una parte se insiste en el papel de los alumnos como responsables de su propio aprendizaje. Se presta, además, cierta atención a un aspecto del trabajo científico que a menudo había sido olvidado en la enseñanza tradicional de las ciencias: el aprender a descubrir. Este aspecto todavía constituye una de las más grandes carencias en la formación en ciencias (Campanario, 1999a).

Precisamente el experimento científico está destinado a "preguntar" a la naturaleza en condiciones controladas y replicables. Y, generalmente, nos resistimos a otorgar el mismo mérito a un descubrimiento hecho por azar que a un logro conseguido tras un trabajo cuidadosamente planeado. Siendo que la historia de la ciencia está llena de ejemplos que demuestran que, a veces el azar, es el factor determinante en el descubrimiento científico (Campanario, 1999b)

Campanario (1999b) reconoce dos aspectos fundamentales en la enseñanza de la ciencia con respecto al descubrimiento científico. Por un lado, no parece que la enseñanza tradi-

cional trate de fomentar en los futuros científicos las destrezas mentales básicas para hacer frente a lo inesperado. Así, por ejemplo, muchas veces las prácticas de laboratorio se conciben simplemente como ilustración y es frecuente que los guiones sean cerrados, con todos los desarrollos matemáticos y conceptuales finalizados y con una orientación detallada, tipo receta, de los pasos a seguir, con poco espacio para lo inesperado. Por otro lado, la gran paradoja que subyace al descubrimiento accidental es que es preciso conocer profundamente qué constituye lo normal para poder detectar lo inesperado. Así, mientras una concepción simplista cercana al inductivismo explicaría el descubrimiento accidental haciendo referencia a la gran capacidad de observación del científico que lo realiza, una concepción más adecuada destacaría el papel de los conocimientos previos en la detección de aspectos en un experimento o una situación que está en conflicto con dichos conocimientos o expectativas.

De las críticas más significativas al modelo de enseñanza por descubrimiento están, por un lado, Hodson (1994) que apoya la posición de que lo que empezó siendo una justificación psicológica del aprendizaje se acabó basando en una justificación epistemológica sobre la estructura de la ciencia y de los procesos científicos, según concepciones que prestan demasiada atención al proceso de observación y formulación de hipótesis. Así, una de las características del aprendizaje por descubrimiento que más facilitó su extensión es que la visión de la ciencia que lo sustenta es más "sencilla" que la de otros modelos de la ciencia y los alumnos pueden comprenderla con más facilidad.

Por su parte Ausubel (citado en Campanario 1999a) afirma que ni todo el aprendizaje receptivo es forzosamente memorístico, ni todo el aprendizaje por descubrimiento es necesariamente significativo. Estas categorías formarían unos ejes independientes, "ortogonales" en palabras de Ausubel, que permitirían clasificar las situaciones de aprendizaje en el aula de acuerdo con los componentes, según cada uno de los ejes. Así, por ejemplo, la búsqueda de soluciones a problemas complejos por ensayo y error sería un ejemplo de aprendizaje por descubrimiento que difícilmente daría lugar a un aprendizaje significativo.

Es verdad, por otro lado, que el inductivismo extremo, la falta de atención a los contenidos, la insistencia en una actividad completamente autónoma de los alumnos, etc. contribuyeron al fracaso del paradigma de aprendizaje por descubrimiento. Es claro que estas tendencias tienen poco que ver con la visión actual de lo que constituye el trabajo científico.

co y se ha mostrado con claridad el resultado negativo de su aplicación, tanto en lo que se refiere a la adquisición de conocimiento como en lo que respecta a la comprensión de la naturaleza de la ciencia (Gil, 1993)

#### **4.1.3 El constructivismo y cambio conceptual.**

El cambio conceptual forma parte de la estructura del constructivismo, corriente que plantea que el aprendizaje es el resultado de la interacción entre lo que se enseña al alumno y sus propias ideas o conceptos. De esta manera es fundamental comprender los motivos de la persistencia de lo que se denominado “esquemas alternativos” o “errores conceptuales”. Así, surge el cambio conceptual como una teoría que considera los procesos que la persona utiliza para modificar sus conceptos centrales (Garritz, 2001).

Cinco escuelas filosóficas: el falsacionismo, los programas de investigación científica, las tradiciones de investigación, el evolucionismo y el relativismo tienen una base constructivista. Consideran que el conocimiento científico es construido por la inteligencia humana, en un contexto generalmente social, teniendo en cuenta el conocimiento existente, y por actos creativos en los que la teoría precede a la observación. Todas las teorías científicas tienen temporalmente una coherencia interna, y se corresponden con un cierto cuerpo de experiencias (Mellado, 1993)

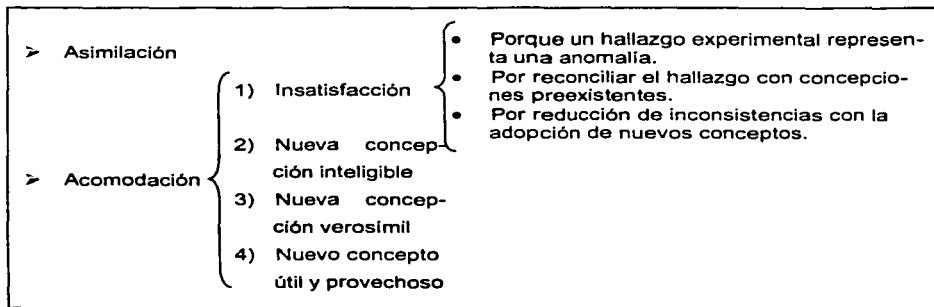
De forma análoga, la teoría constructivista del aprendizaje considera que el estudiante construye de forma activa su propio conocimiento, en el contexto social en el que se desenvuelve, y partiendo de su conocimiento anterior. Las teorías elaboradas por los estudiantes tienen también para ellos coherencia y utilidad, y se corresponden con las experiencias intuitivas que han tenido a lo largo de sus vidas.

En un artículo publicado en 1982 por Posner, Strike, Hewson y Gertzog en la revista *Science Education* (citado en Garritz, 2001), se puede notar las primeras pautas de lo que se convertiría en la teoría del cambio conceptual. Los autores plantean la cuestión del cambio de las ideas previas de los estudiantes y lo consideran como un proceso y no,

como mucho tiempo se había pensado de manera simplista, la adquisición de un conjunto de ideas correctas.

Dentro de este proceso podríamos hablar de dos niveles de comprensión: el primero como *asimilación*, en el cual los estudiantes han echado mano de sus conceptos existentes para trabajar con nuevos fenómenos, pero estas mismas concepciones se convierten en una barrera para una comprensión adecuada de los fenómenos. Por otro lado, si lo que se pretende es un mejor nivel de aprendizaje y que se dé la asimilación de conceptos y fenómenos satisfactoriamente, habrá que reemplazar o reorganizar los conceptos centrales. A esta forma más radical de cambio conceptual la denominan Posner y colaboradores como *acomodación*.

Para que la *acomodación* se dé, se han reconocido cuatro condiciones básicas: 1) *Debe existir insatisfacción con las condiciones existentes*: Hay diversas causas por las que un concepto produce insatisfacción al momento de explicar un fenómeno, ver figura número 7. 2) *Una nueva concepción debe ser mínimamente inteligible* 3) *Una nueva concepción debe aparecer como verosímil inicialmente*. 4) *Un nuevo concepto debe sugerir la posibilidad de un programa de investigación fructífero o provechoso* (Garritz, 2001).



**Figura Núm. 7** Dos niveles en el proceso de comprensión de un fenómeno científico.

En el proceso de acomodación se pueden encontrar analogías entre el quehacer científico y el aprendizaje de las ciencias. Así, en el modelo de Kuhn, un paradigma alternativo sólo puede tomar el lugar de un paradigma firme si es comprendido por los científicos. De igual

forma, en el aprendizaje, la persona debe ser capaz de captar cómo puede el nuevo concepto estructurar la experiencia suficientemente como para explorar sus posibilidades inherentes. Una nueva concepción debe hacer más que la concepción previa si ha de considerársele fructífera, aunque debe hacerlo sin sacrificar cualquiera de los beneficios de la concepción previa o, en todo caso, debe dar los suficientes incentivos por el sacrificio requerido (Garritz, 2001).

De esta manera, podemos encontrar una serie de analogías entre las posiciones constructivistas de la ciencia y el aprendizaje de la ciencia. A continuación se presentan algunos casos de estos paralelismos entre las escuelas constructivistas y el aprendizaje científico, tomados de "Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias" (Mellado, 1993).

- *El paralelismo educativo con el falsacionismo de Popper sería que el cambio conceptual se produce en los estudiantes cuando se provoca contradicción entre sus teorías previas y la experiencia. En consecuencia, la meta instruccional sería encontrar experiencias que provoquen la contradicción. Sin embargo, hay autores que afirman que la "enseñanza por contradicción" no es suficiente para inducir el cambio conceptual, ya que al cabo de cierto tiempo los estudiantes vuelven a sus concepciones ingenuas.*
- *La característica de la resistencia al cambio de Lakatos ha sido encontrada por numerosos autores en las teorías de los estudiantes. El cambio conceptual se producirá en los estudiantes cuando tengan insatisfacción con las ideas previas y simultáneamente las nuevas ideas les resulten inteligibles, plausibles y útiles. La estrategia didáctica comenzaría con una identificación de las ideas alternativas de los estudiantes, seguidamente se produciría un conflicto cognitivo por el uso de contraejemplos, y se irían introduciendo las nuevas ideas con oportunidades para aplicarlas en situaciones diferentes.*
- *También pueden considerarse los modelos de Kuhn y Lakatos como la base epistemológica de la teoría del cambio conceptual. Cuando el cambio conceptual de los estudiantes suponga una débil reestructuración de sus ideas, habría una analogía con los periodos de ciencia normal de Kuhn o, en el caso de Lakatos, cuando*



*se vea afectado el cinturón auxiliar de los programas de investigación científica. En cambio, cuando el cambio conceptual supone una fuerte reestructuración de las ideas de los estudiantes, la analogía sería con los periodos de ciencia revolucionaria o de cambio de paradigma de Kuhn o, en el caso de Lakatos, cuando se ve afectado el núcleo central del programa.*

- *Como ya se ha mencionado, para Toulmin las teorías científicas evolucionan por presión selectiva de las poblaciones conceptuales. Autores, como Nussbaun, apoyan esta tesis para el aprendizaje científico y creen que el cambio conceptual en los estudiantes es gradual, de tal forma que se van incorporando ideas nuevas pero se mantienen algunas de las anteriores.*
- *Según Laudan, para que se produzca un cambio en una tradición de investigación no basta con un cambio de teorías, sino que tienen que cambiar, además, los fines y la metodología. Esto va en contra de los modelos de Kuhn y Lakatos, que suponen que el cambio de las teorías produciría de forma simultánea cambios ontológicos y metodológicos. En cambio, siguiendo a Laudan, el cambio metodológico juega un papel esencial.*

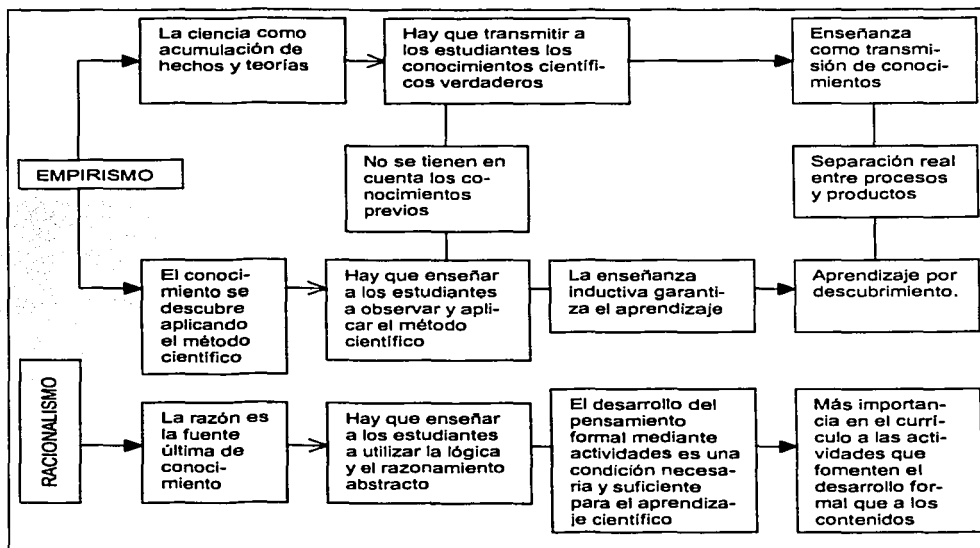
Ver figuras números 8 y 9, sobre analogías.

Gil (1993), por su parte, reconoce una coincidencia básica de las diversas propuestas presentadas por sus autores como modelos distintos. En todas ellas encontramos, expresadas en una u otra forma, la idea de contemplar el aprendizaje como un cambio conceptual que precisa de cuatro fases:

- La *primera fase* de identificación y clarificación, es una etapa de exploración acerca de las ideas que ya poseen los alumnos
- La *segunda fase*, es una fase de reestructuración, con la creación de conflictos cognitivos que generan la insatisfacción con dichas concepciones y preparen para la introducción de los conceptos científicos.

- La *tercera fase*, corresponde a la introducción de nuevas ideas mediante lluvia de ideas, entre los alumnos o presentadas por el profesor.
- La *cuarta fase* es de aplicación, dando oportunidad a los estudiantes para usar las nuevas ideas en diferentes contextos.

Así, es conveniente que el docente conozca la forma en que los educandos se plantean el tema, el lenguaje que usan, los razonamientos que aplican, sus actitudes etc. y por su parte, los alumnos tendrán que reconocer que existen otros puntos de vista diferentes a los suyos (Gómez-Moliné, 1996).



**Figura Núm. 8** Analogías entre las escuelas empiristas y racionalistas con el aprendizaje de las ciencias (Mellado, 1993).

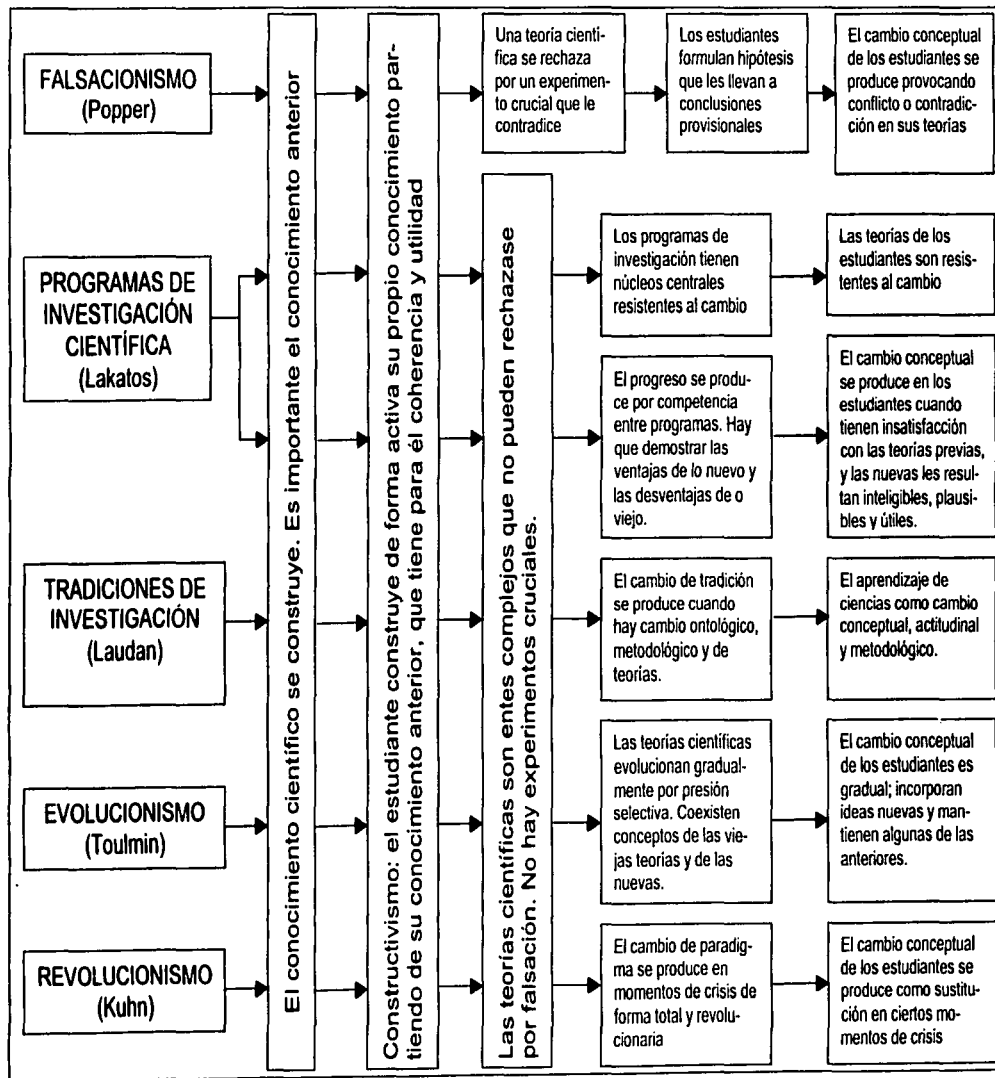


Figura Núm. 9 Analogías entre las escuelas constructivistas de filosofía de la ciencia y el aprendizaje científico de los estudiantes (Mellado, 1993).

Esta actitud muestra dos ventajas respecto a la posición tradicional de la relación profesor- alumno: la primera es que el estudiante aprende a conocer y a valorar las opiniones de sus compañeros tanto como las del profesor o las suyas propias, de manera que se habitúa a contemplar con naturalidad la posibilidad de discrepar sobre una cuestión que sólo debe quedar concluida tras un debate razonado. Y la segunda ventaja consiste en que el estudiante aprende a decidir sobre la aceptación o rechazo de las ideas que se le proponen, no sobre la base de la autoridad, sino mediante el raciocinio (Alemañ, 2000).

Dentro de las implicaciones educativas de la teoría de cambio conceptual, resaltaría la necesidad de que el profesor logre transformar las ideas previas en conceptos científicos, utilizando las estrategias educativas adecuadas para lograr las condiciones básicas antes mencionadas: insatisfacción, inteligibilidad, verosimilitud y provecho. Actualmente existen un gran número de investigaciones y propuestas sobre estrategias para lograr el cambio conceptual en los alumnos de ciencias. Resaltan los trabajos publicados en revistas como *Enseñanza de las Ciencias y Educación Química*.

#### **4.1.4 El modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación**

En el transcurso de los últimos años, el intento por implementar estrategias de cambio conceptual cada vez más optimas para el aprendizaje de las ciencias, ha revelado ciertas limitaciones. Una de las más serias es la falta de atención a las formas de razonamiento asociadas a los esquemas alternativos de los alumnos (Gil, 1993). No se puede dar un avance significativo en el cambio conceptual, si se reduce la tarea a un simple reemplazo de ideas erróneas por ideas correctas, sin considerar tanto los métodos como las actitudes en las estrategias didácticas.

*Las concepciones preclásicas sólo pudieron ser desplazadas gracias a una nueva metodología que combinaba la creatividad del pensamiento divergente con el rigor en la contrastación de las hipótesis, mediante experimentos en condiciones controladas y la búsqueda de coherencia global. Cabe, pues, pensar que los cambios conceptuales de los alumnos exijan igualmente un cambio metodológico o, si se prefiere, epistemológico (Gil, 1993).*

Los intentos por lograr un cambio conceptual en los estudiantes serán vanos, si no se atienden también las metodologías de enseñanza de la ciencia y cómo éstas contribuyen a las concepciones que tienen los alumnos sobre el quehacer científico. Así, por ejemplo, si un alumno piensa que la ciencia se compone de piezas o dominios aislados sin relación entre sí, es difícil que el profesor logre hacerle ver la equivalencia de determinados conceptos, como la energía, en diferentes contextos (Campanario, 2000). Esto implica situar las creencias epistemológicas de los alumnos en el foco de los objetivos educativos aunque ello signifique cubrir una cantidad menor de los contenidos propios de la materia que se enseñe. Así, el diseño y desarrollo de material curricular es fundamental para la implementación de nuevas metodologías (Lledó, 1993)

Algunos autores, entre ellos Laudan, han criticado la posición de que el cambio conceptual trae consigo cambios simultáneos en los procedimientos y actitudes, lo que supone una visión jerárquica donde lo más importante en la enseñanza son las actividades para generar cambios conceptuales y se descuidan otras cuestiones como, por ejemplo, las relacionadas con los fines del conocimiento científico (Cudmani, 1997). Así pues, Laudan propone un modelo *reticular* donde están en el mismo nivel e interrelacionadas Teorías-Métodos-Metas y Fines.

*La historia de la ciencia demuestra que los científicos pueden alterar sus compromisos teóricos sin afectar sus compromisos metodológicos y axiológicos. Cuando Copérnico propone su sistema heliocéntrico, lo hace considerándolo un modelo que hace mucho más simples los cálculos, pero no está claro que haya creído que la Tierra no era el centro del universo. Cuando Dalton propone su teoría atómica, no cree en la existencia de los átomos como tampoco Planck cree en la existencia del quantum (Cudmani, 1997).*

Por otro lado, la actitud tanto del docente como del estudiante, en el proceso de cambio de ideas, es un aspecto sumamente delicado. Como es bien sabido, el cambio conceptual parte de reconocer las ideas y conceptos de los estudiantes, por lo cual estos tienen que expresarlas y defenderlas para después ser cuestionadas por el profesor e introducir las nuevas concepciones "correctas". Esta práctica reiterada puede generar inhibición y rechazo por parte de los estudiantes; si siempre que expresan una idea y la defienden, ésta termina siendo errónea, qué sentido tiene volver a intentarlo. A este respecto, Solomon

(citado en Gil, 1993) argumenta que *tras impulsar la expresión de un conjunto de opiniones particulares, el profesor no puede simplemente rechazar las que no se ajustan a la teoría vigente. De ese modo dejaría de ser posible un diálogo abierto.*

Así, se cuestiona la estrategia del cambio conceptual en la que se parte de la ideas de los alumnos para crear situaciones de conflicto. Valdría pensar en una estrategia diferente dentro de un trabajo de profundización en el que unas ideas, tomadas como hipótesis, son sustituidas por otras, tan propias como las anteriores. De esta manera, *el aprendizaje de las ciencias es concebido no como un simple cambio conceptual, sino como un cambio a la vez conceptual, metodológico y actitudinal* (Gil, 1994).

Tomando en cuenta las consideraciones antes mencionadas, surge lo que se ha denominado "Estrategias de enseñanza para un aprendizaje como investigación". En la figura número 10, se presentan los supuestos básicos de esta metodología.

Se considera importante resaltar el hecho de que no se parte de las ideas previas de los alumnos para ser confrontadas, sino que se parte de situaciones problemáticas donde las ideas previas juegan el papel de hipótesis. De hecho, una investigación no se plantea para cuestionar ideas, para provocar cambios conceptuales, sino para resolver problemas de interés para los investigadores, es decir en nuestro caso para los alumnos; problemas que se abordan, como es lógico, a partir de los conocimientos que se poseen (Gil, 1994). Todo esto en el sentido de Bachelard, que afirma que *todo conocimiento es la respuesta a una cuestión* (Gil, 1993).

Debido a que este modelo de enseñanza contempla una participación de los alumnos de manera más radical que en otras propuestas, han surgido cuestionamientos y oposición por parte de algunos profesores. Un primer cuestionamiento es el de hasta qué punto los estudiantes pueden construir unos conocimientos que tanto tiempo y esfuerzos han exigido a científicos más notables.

El supuesto al que recurre en este caso es que: *es bien sabido que, cuando alguien se incorpora a un equipo de investigadores, puede alcanzar con relativa rapidez el nivel medio del resto del equipo. Y ello no mediante una transmisión verbal, sino abordando problemas en los que quienes actúan de directores/formadores son expertos* (Gil, 1993). Así,

el alumno jugaría el papel de aquel que se incorpora a un equipo dirigido por un experto (profesor) a una investigación dirigida en dominios perfectamente conocidos.

1. Plantear situaciones problemáticas que- teniendo en cuenta las ideas, visión del mundo, destrezas y actitudes de los alumnos y alumnas- generen interés y proporcionen una concepción preliminar de la tarea.
2. Proponer a los estudiantes el estudio cualitativo de las situaciones problemáticas planteadas y la toma de decisiones, con la ayuda de las necesarias búsquedas bibliográficas, para acotar problemas precisos (oportunidad para que comiencen a explicar *funcionalmente* sus ideas).
3. Orientar el tratamiento científico de los problemas planteados lo que conlleva, entre otros:
  - La invención de conceptos y emisión de hipótesis (oportunidad para que las ideas previas sean utilizadas para hacer predicciones).
  - La elaboración de estrategias de resolución (incluyendo, en su caso, diseños experimentales) para la contrastación de las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone.
  - La resolución y el análisis de los resultados, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de alumnos y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en ocasión de conflicto cognoscitivo entre distintas concepciones (*tomadas todas ellas como hipótesis*) y obligar a concebir nuevas hipótesis.
4. Plantear el manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones para hacer posible la profundización y afianzamiento de los mismos, poniendo un énfasis especial en las relaciones ciencia/técnica/sociedad que enmarcan el desarrollo científico (propiciando, a este respecto, la toma de decisiones) y dirigiendo todo este tratamiento a mostrar el carácter de cuerpo coherente que tiene toda ciencia.  
Favorecer, en particular, las actividades de síntesis (esquemas, memorias, mapas conceptuales...), la elaboración de productos (susceptibles de romper con planteamientos excesivamente escolares y de reforzar el interés por la tarea) y la concepción de nuevos problemas.

**Figura Núm. 10** Estrategias de enseñanza para un aprendizaje como investigación (Gil, 1993)

*El único modo eficaz de aprender ciencia es practicando la ciencia junto a un experto diestro y experimentado que pueda aportar su ayuda, crítica y consejo sobre la práctica* (Hodson, 1994). De esta manera, la ciencia no es sólo la experimentación, sino una actividad reflexiva donde el director/profesor cobra singular importancia, con sus cuestionamientos y aclaraciones.

Por otro lado, es importante no caer en el reduccionismo de asociar la investigación solamente al trabajo experimental de laboratorio. Siendo esta una visión deformada sobre la naturaleza de la ciencia que ha sido transmitida a los alumnos durante muchos años. Habría entonces que resaltar el importantísimo papel de la lectura de textos científicos

durante el trabajo de investigación, así como la escucha de la exposición de otros y debates. En la figura número 11, se presenta lo que sería el diagrama de un ciclo de investigación que pretende salir al paso de dichas concepciones simplistas. Dicho esquema es presentado por Gil (1993).

De esta manera, se pretende contribuir a que los alumnos tengan una idea de ciencia más real y humana. No como una actividad reservada para "genios". Duschl (1995) propone hacer de la enseñanza de las ciencias *una reflexión sobre el proceso de investigación*. Aparece así la dimensión social: *los debates, las normas de argumentación, el repaso detallado, las presentaciones y revisiones de ideas científicas son prácticas científicas que ayudarán a los estudiantes a aprender el lenguaje y las normas de la ciencia como una manera de conocer*.

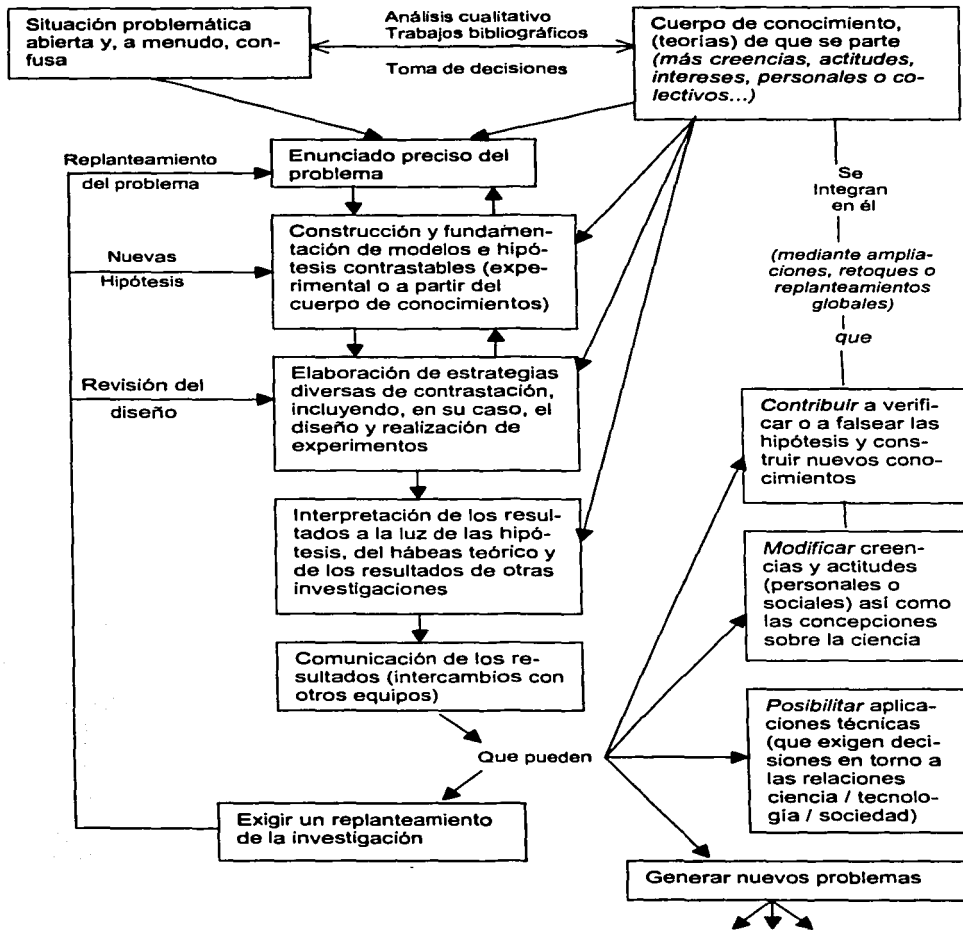
Este modelo de enseñanza-aprendizaje aplicado a ingeniería, respondería a una necesidad en nuestro país: la investigación en ingeniería. Habría que proponer seguir el ciclo de investigación propuesto por Gil, partiendo de una situación problemática real y cercana. Con "cercana" se quiere decir que haya una relación directa con el problema, pues se puede tener un problema real pero referido a las temperaturas extremas que se experimentan en países como Rusia o Canadá, y no a los problemas de humedad y ambiente corrosivo que experimentamos en las costas de nuestro país, lo cual altera los parámetros para el diseño de equipos.

El desarrollo de este ciclo de investigación partiendo de un problema real y cercano, podría también contemplar los aspectos no solo de tipo ingenieril, sino de tipo económico, social y ambiental que van obstaculizando o favoreciendo el desarrollo de proyectos. Con esto se esperaría generar una nueva conciencia en los estudiantes y la disposición de resolver problemas de manera integral y creativa.



**Figura Núm. 11**

Diagrama de un ciclo de investigación (Gil, 1993)



#### **4.2 El papel de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza.**

De unos años a la fecha, frente al problema claramente reconocido de la transmisión distorsionada sobre lo que es la ciencia y el trabajo científico, han surgido una serie de documentos (Matthews 1994a, Solaz 1998, Pedrinaci 1994, Solbes 2001, Solbes 1996) que recomiendan apoyarse en la historia y la filosofía de las ciencias (HFC) para transmitir y formar en los estudiantes una idea de ciencia más adecuada.

La mayoría de estos trabajos sostiene que, aunque no se tienen todas las soluciones a la crisis en formación científica, se tienen algunas respuestas. La historia y filosofía contempladas dentro de la enseñanza de la ciencia, pueden (Matthews, 1994a):

- *Humanizar las ciencias y acercarlas más a los intereses personales, éticos, culturales y políticos.*
- *Hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando así las capacidades del pensamiento crítico.*
- *Contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos.*
- *Contribuir, un poco, a superar el "mar de sinsentidos" en que un comentarista dijo se habían engolfado las clases de ciencias, donde se recitaban fórmulas y ecuaciones, pero donde pocos conocían su significado.*
- *Mejorar la formación del profesorado, contribuyendo al desarrollo de una epistemología de la ciencia más rica y más auténtica, esto es, a un mejor conocimiento de la estructura de la ciencia y su lugar en el marco intelectual de las cosas.*

Para 1994, ya algunos países como Inglaterra, Estados Unidos, Dinamarca y Holanda han optado por incluir HFC en la enseñanza de las ciencias. Los currículos han incluido secciones denominadas "The Nature of Science" que pretenden contribuir de manera positiva en el aprendizaje y generar actitudes positivas por parte de los alumnos hacia el quehacer científico. España, de un tiempo a la fecha, ha venido haciendo grandes esfuerzos en este sentido (véanse Solbes y Traver 1996 y 2001).

Claro está que, para lograr todo esto, habría que hacer algunas consideraciones en cuanto al papel de la HFC en los programas de enseñanza. Destacaríamos (Pedrinaci, 1994):

- La HFC y la selección del currículo.

- La HFC y el trabajo en el aula.
- La HFC y la formación del profesorado.

#### **4.2.1 La HFC y la selección del currículo**

En cuanto a *la HFC y la selección del currículo*, podríamos mencionar tres aspectos que se consideran importantes; 1) qué pretende el currículo promover al contemplar HFC (habilidades a desarrollar); 2) la necesidad de contemplar asignaturas sobre historia y filosofía de la ciencia, así como secciones y aspectos relacionados con HFC en lo que podríamos llamar "asignaturas tradicionales"; 3) la necesidad de material curricular que contemple HFC y su utilización en clase.

En respuesta al primer aspecto, podemos considerar como ejemplo, los objetivos que pretende un modelo curricular británico (British National Currículo Concil 1988, citado en Matthews 1994), donde se menciona que: *los alumnos deberían mejorar su conocimiento y comprensión de las formas con que cambian las ideas científicas a través del tiempo y como la naturaleza de estas ideas y los usos a que se aplican son afectados por los contextos social, moral, espiritual y cultural donde se desarrollan*. Y agrega que los alumnos deberían ser capaces de:

- *Distinguir entre exigencias y argumentos basados en evidencias y datos científicos y los que no lo están.*
- *Considerar cómo el desarrollo de una idea o teoría científica concreta se relaciona con su contexto histórico y cultural, incluyendo el espiritual y el moral.*
- *Estudiar ejemplos de controversias científicas y las formas en que las ideas científicas han cambiado.*

Otros proyectos, que intentan elevar el interés por las ciencias en escuelas e institutos, han señalado la importancia de HFC en los currículos como un elemento, por un lado para concretar la exposición de la empresa científica con ejemplos concretos y por otro como elemento esencial y de importancia capital para nuestra herencia cultural (Matthews, 1994).

Ahora bien, refiriéndonos a la necesidad de contemplar asignaturas sobre historia y filosofía de la ciencia, así como secciones y aspectos relacionados con HFC en lo que podríamos llamar "asignaturas tradicionales", podemos señalar que: las implicaciones pedagógicas de HFC en la enseñanza son considerables, tanto que quizás el profesorado no esté preparado para confrontarlas. El conocimiento de historia de la ciencia revela lo extraordinariamente complejo del desarrollo de la ciencia, de tal manera que si un profesor llega a dominar estos procesos de desarrollo se tendrá que enfrentar al problema de transmitirlos y, además, sin material de apoyo. Así, por ejemplo, *es sobradamente conocido el papel que jugaron los modelos mecánicos del éter en la síntesis electromagnética de Maxwell o la importancia de las investigaciones sobre el espectro continuo de los sólidos incandescentes de Raleigh y Jeans y, sobretodo, de Planck, para el nacimiento de la física cuántica; pero la gran dificultad didáctica de estos aspectos imposibilita su introducción en la enseñanza secundaria* (Solbes, 1996). Este aspecto tiene mucha relación con lo que hemos denominado la HFC y el trabajo en el aula, consideración que hicimos al principio de esta sección y que retomaremos más adelante.

En cuanto a la necesidad de material curricular tenemos que debido a que la preocupación y el interés por introducir HFC en los currículos de ciencias, en algunos países, es relativamente nueva y se viene trabajando desde hace pocos años sobre estos temas; podríamos decir que el material curricular es prácticamente nulo. Aun en países donde se ha iniciado un trabajo en esta línea, se ha influido poco. Lo cual queda demostrado por la poca demanda, por parte del profesorado, de estos materiales, la escasez de traducciones de libros y proyectos elaborados en esta perspectiva, etc. (Solbes, 1996)

No es de extrañar la baja demanda de material curricular por parte del profesorado, si la formación universitaria que tuvieron ha sido tradicional. No aparecen en los planes de estudio, y solamente en algunos países, hasta principios de los 80, asignaturas de HFC que pudieran contrarrestar la imagen de ciencia como unos contenidos ya hechos, como una serie de leyes que se deducen lógicamente a partir de unos principios, y presentarla como una construcción de conocimientos para resolver problemas. Así pues, por un lado no hay material curricular y por el otro no hay un profesorado que lo demande, quedando como lo más importante el libro de texto, *nos guste o no, el currículo de la mayoría de nuestras escuelas no lo determinan los cursos de formación realizados por el profesorado, sino los libros de texto clásicos* (Lledó, 1993).

A continuación se presentará una serie de consideraciones para desarrollar material curricular, con un enfoque histórico, para ser utilizado en clases de ciencia de manera que contengan diversos aspectos que muestren una imagen más próxima a la realidad y más de acuerdo con su evolución histórica (Solbes, 2001):

- a) *Considerar la ciencia como una construcción sistemática de conocimientos elaborada a lo largo de la historia y no como un conjunto de descubrimientos más o menos fortuitos de realidades preexistentes.*
- b) *Reconocer los problemas significativos que hay en la base de la construcción de los conceptos más importantes y de las principales teorías científicas y que en diferentes momentos históricos han abierto las líneas de investigación más productivas.*
- c) *Atribuir a los experimentos científicos un valor apropiado como una etapa más en el proceso de resolución de un problema, relativizar los resultados dentro de sus límites de validez y no asignarles de manera irreflexiva el papel de experiencias cruciales.*
- d) *Otorgar al formalismo matemático el valor instrumental útil y necesario para profundizar en la descripción, operativización y desarrollo de las hipótesis elaboradas previamente de forma cualitativa.*
- e) *Reconocer la existencia de crisis importantes en la evolución histórica de los conocimientos científicos, tanto en el ámbito general de los principales paradigmas como en el interior mismo de éstos y relativizar el carácter acumulativo de los conocimientos científicos. Reconocer, en fin, que la evolución de los conocimientos científicos a lo largo de la historia no es un proceso lineal y que se han producido crisis importantes en los llamados paradigmas científicos, de igual modo que las ideas dentro de un mismo paradigma no siempre han sido inmutables y se han generado controversias que han producido modificaciones significativas.*
- f) *Reconocer el carácter colectivo del trabajo de los científicos, donde es constante el intercambio de ideas, dada su provisionalidad, y el contraste de opiniones firmemente fundamentadas en trabajos de orígenes diversos cuyos resultados convergen y se muestran coherentes.*
- g) *Reconocer algunas implicaciones sociales de las principales aportaciones del pensamiento científico al desarrollo general de la humanidad y la fuerza de éste para*

*transformar nuestra percepción del mundo y, en definitiva, tener una visión más humanizada de la ciencia.*

- h) Valorar adecuadamente las contribuciones de los científicos de nuestro país que han aportado a la ciencia los frutos de su trabajo serio y con el rigor adecuado, a pesar de ser generalmente desconocidos, por razones diversas de carácter histórico.*
- i) Valorar adecuadamente las contribuciones de las mujeres científicas, habitualmente ignoradas por una visión de la ciencia con una excesiva frecuencia centrada en determinadas épocas y en ciertos tópicos masculinos.*

#### **4.2.2 La HFC y el trabajo en el aula**

Dentro de lo que hemos denominado *la HFC y el trabajo en el aula*, destacaremos dos aspectos: 1) el problema de la transmisión de la historia y 2) la importancia de que en el aula es donde se concretiza la imagen de ciencia que se quiere transmitir.

El primer aspecto, podríamos decir que no es propiamente un problema de la enseñanza de las ciencias o de la historia de la ciencia, sino de la historia en general en el sentido de que la objetividad de la historia es, en principio, imposible: la historia no se presenta tal cual es al espectador, tiene que ser construida y esta construcción esta influenciadas por opiniones sociales, nacionales, psicológicas y religiosas del historiador. Y, en el caso específico de la historia de las ciencias, ésta estará influenciada por la teoría de la ciencia o la filosofía de la ciencia sostenida por el historiador (Matthews, 1994a).

Como ejemplo de lo anterior tenemos la figura de Galileo, que a partir de las diferentes interpretaciones a su trabajo, ha pasado a pertenecer a diferentes corrientes filosóficas como: inductivista y empirista, como una figura baconiana, positivista, platónico, perteneciente a la tradición escolástico-aristotélica, experimentalista, anarquista y hasta dadaísta (Matthews, 1994a). *Bacon dio un consejo empirista, diciendo que deberíamos reducir al mínimo el conjunto de esas influencias y ver el mundo cómo es realmente. Ahora este consejo se reconoce como algo muy simplista: no solo la literatura, la historia y la política, sino también la ciencia natural tiene su problema hermenéutico...así se reconoce una interpretación hermenéutica de la historeografía de la ciencia* (Matthews, 1994a).

Pero el problema hermenéutico de la interpretación de la historia, no debe ser un obstáculo para el aprendizaje de ciencias y la adopción de ideas más propias sobre el científico y su trabajo, sino todo lo contrario *puede ser la ocasión para introducir a los estudiantes en los aspectos significativos sobre cómo leer textos e interpretar hechos, en los complejos problemas de la significación: los estudiantes saben, desde su vida cotidiana, cómo la gente ve las cosas de forma diferente, la historia de la ciencia es un vehículo natural para ilustrar cómo este hecho sucede en la ciencia misma* (Matthews, 1994a).

Además, quierase o no, existe, de alguna manera, una interpretación de lo que se sabe, veladamente, sobre los acontecimientos históricos de la ciencia, lo que ha provocado a lo largo de los años "idealizaciones" acerca del quehacer científico así como de los mismos científicos, considerados como genios para los cuales está reservado un saber privilegiado y desprestigiando el papel de la perseverancia y tenacidad de estos hombres y mujeres, pues se presentan solamente sus logros y no sus fracasos y problemas a los que se enfrentaron.

De alguna manera, aunque no se haya considerado seriamente la inclusión de HFC dentro de los currículos, hay una historia "informal", tanto en los libros de texto como en las clases de ciencia que va formando, junto con las prácticas cotidianas de la enseñanza, las concepciones que tienen de la ciencia los alumnos.

En muchos libros de ciencias se proyecta una imagen distorsionada de la ciencia y de los científicos. La ciencia es vista con frecuencia como un conjunto de verdades definitivas y neutrales y los científicos en palabras de Hodson (citado en Pedrinaci, 1994) *como objetivos, sin sesgo, y poseedores de un método todopoderoso e infalible para determinar la verdad sobre el universo. Estos mitos sobre la ciencia y los científicos son interiorizados por los profesores durante su formación científica y, por ello, les son presentados a los niños en el currículo.*

La utilización en clase de unidades y secciones que aborden más profundamente aspectos de HFC con el apoyo de materiales curriculares puede dar resultados muy positivos en cuanto a una visión más acertada de la ciencia y una actitud más positiva hacia su estudio. Concretamente se presentan los cambios esperados y con resultados positivos dentro de la investigación de Solbes y Traver (2001):

- a) *Conocer mejor aspectos históricos de la ciencia, antes generalmente ignorados y, consecuentemente, mostrar una imagen de la ciencia más completa y contextualizada.*
- b) *Valorar adecuadamente aspectos internos del trabajo científico como: los problemas abordados, el papel del azar, la importancia de los experimentos, el formalismo matemático y la evolución de los conocimientos (crisis de paradigma, controversias y cambios internos).*
- c) *Valorar adecuadamente aspectos externos como: el carácter colectivo del trabajo científico, las implicaciones sociales de la ciencia, la actividad científica realizada en el país y el papel de las mujeres científicas.*
- d) *Presentar una imagen menos tópica de la ciencia y los científicos.*
- e) *Mostrar más interés hacia el estudio de la física y la química.*
- f) *Mejorar el clima del aula y la participación en el proceso de enseñanza aprendizaje.*
- g) *Valorar positivamente la utilización de aspectos de historia de la ciencia en las clases de física y química como forma de ayudar a aumentar su interés hacia el estudio de estas materias.*

Por su parte Pedrinaci (1994) señala: *La HFC puede ayudar a mostrar como surgen las teorías, como tienen un periodo de aceptación más o menos largo y cómo finalmente son superadas por otras ideas con más poder explicativo. Ello facilita la relativización del conocimiento científico y es, probablemente, el mejor antídoto contra una visión dogmática del saber que cree en verdades definitivas.*

#### **4.2.3 La HFC y la formación del profesorado**

Por último tenemos *la HFC y la formación del profesorado* como factor esencial dentro de la estructura educativa. Una de las primeras cosas que debe tener claro el profesorado es, qué ciencia quiere enseñar a los alumnos. Para muchos podría parecer absurdo este cuestionamiento y quizás responderían con un "¿cómo que cuál?..."., lo que revelaría que no se consideran los riesgos de transmitir visiones erróneas sobre la ciencia y que han sido citadas anteriormente en este trabajo.



Hemos hablado de los alumnos: sus ideas previas, sus métodos de razonamiento, sus concepciones epistemológicas, habilidades etc. Pero poco se ha dicho acerca del papel del profesor frente a estos obstáculos. Gastón Bachelard (citado en Solaz, 1998), introdujo la noción de *obstáculo epistemológico*, refiriéndose a la resistencia al cambio de paradigmas en la historia, resistencia provocada por cuestionamientos serios al conocimiento generado en investigaciones anteriores que ponen en duda fuertes creencias, fundamentadas no solamente en la investigación y teorías generadas, sino también en factores tales como: los instintos, las costumbres intelectuales, la inercia de las culturas, la enseñanza errónea de la ciencia, la ideología de la ciencia etc.

Bachelard señaló también que la noción de obstáculo epistemológico puede ser estudiada tanto en el desarrollo histórico del pensamiento científico como en los conocimientos de que dispone un estudiante de ciencias. En este sentido, como ya se ha mencionado en este trabajo, algunos autores apuntan que los modelos espontáneos (llámense ideas previas, preconcepciones etc.) de los alumnos tienen, en ocasiones, semejanzas sorprendentes con los modelos científicos de determinados momentos en la historia de la ciencia (Campanario 2000, Matthews 1994, Solaz 1998, Pedrinaci 1994). Así, el conocimiento de la historia de la ciencia puede convertirse en una valiosa herramienta del profesorado ante ciertas resistencias que se han manifestado a lo largo del tiempo (Solaz, 1998).

Driver (citado en Solaz, 1998) contempla dentro de un esquema constructivista al profesor que considere HFC efectuando actividades en las que mediante textos históricos, los alumnos tengan posibilidad de comparar sus modelos con los de los científicos en determinados momentos de la historia promoviendo un saber científico como el resultado de una construcción humana, con sus errores y rectificaciones correspondientes. *El profesor constructivista explora los esquemas conceptuales de los alumnos, diseña materiales y actividades que les permitan reflexionar en grupo sobre estos esquemas y mostrar sus deficiencias para, en último término, reestructurarlos hasta que lleguen a ser compatibles con los aceptados por la comunidad científica* (Solaz, 1998).

Es clara la necesidad de un profesorado con una formación en HFC. Un argumento a favor, como dice Matthews (1994), es que produce una enseñanza mejor, más coherente, estimulante, crítica, humana etc. Y otro puede ser, que los profesores adquieran un conocimiento crítico de su asignatura con independencia de que este conocimiento sea utiliza-

do pedagógicamente. Así, la HFC nos obliga a ir más allá de los hechos o conceptos de un campo, *los profesores no sólo deben ser capaces de definir a los estudiantes las verdades aceptadas en un campo, deben también ser capaces de explicar por qué una cierta proposición se estima justificada y como se relaciona con otras proposiciones, tanto fuera de la disciplina como fuera de ella, tanto en la teoría como en la práctica.*

Sin embargo, Matthews señala: *He descubierto, sin que me sorprenda, que los profesores aprecian la oportunidad de leer algo de los escritos de Galileo, Boyle, Newton, Huygens o Darwin. De cientos de licenciados en biología, he encontrado sólo un puñado que haya leído algún escrito de Darwin; de cientos de licenciados en física, no he encontrado ninguno que haya leído algo de Galileo o Newton.*

Por último, se considera importante recalcar el señalamiento de Driver (citado en Pedrinaci, 1994) para ser considerado por los profesores en el aula y en la selección de programas y currículos: *conviene que consideremos seriamente la necesidad de un currículo que no suponga que los alumnos comprenden una teoría en su forma más elaborada desde la primera vez que se les enseña.* Hodson (citado en Pedrinaci, 1994), por su parte dice: *en la enseñanza de la ciencia, el grado de sofisticación teórica en cualquier etapa debería ser determinado por la capacidad de la teoría para explicar los fenómenos que encontraran los alumnos. No necesita ir más allá. En ausencia de fenómenos para ser explicados, no hay necesidad de teoría.*

Para finalizar esta investigación me gustaría retomar algunos señalamientos que aparecen en la Declaración de Venecia, que fue el comunicado final de un encuentro organizado por la UNESCO en 1986, con la participación de renombrados científicos, entre ellos una gran cantidad de ganadores de Premios Nobel. En este encuentro una de las principales preocupaciones fue la necesidad de una nueva educación científica, que supere la típica instrucción lineal memorística. En resumen se señala que:

1. *Nos encontramos en una profunda revolución en el campo de la ciencia.*
2. *Existe una gran brecha entre la nueva ciencia y los valores que siguen prevaleciendo en la filosofía, las ciencias sociales y la vida en las modernas sociedades.*
3. *Esta discrepancia es un profundo peligro para la supervivencia de la vida sobre la Tierra.*
4. *El conocimiento científico actual ha alcanzado un punto que puede empezar a integrarse con otras formas de conocimiento, como las tradiciones, la espiritualidad, etcétera.*
5. *La nueva ciencia abre la puerta a una nueva visión de la humanidad.*
6. *La nueva ciencia propone el modelo transdisciplinario.*
7. *La manera convencional de enseñar la ciencia con una presentación lineal, enmascara la separación entre la ciencia de frontera y las visiones obsoletas del mundo.*
8. *Existe la angustiada necesidad de nuevos métodos educativos que surjan de lo más nuevo del progreso científico.*
9. *Aplicar esta visión es esencial.*

## **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

- Se ha identificado un obstáculo de enormes dimensiones para la adquisición de conocimiento científico, que va mucho más allá de la posición errónea que solamente reconocía el factor "coeficiente intelectual" para aprender ciencia, atribuyendo a los estudiantes la responsabilidad de sus éxitos o fracasos en esta tarea.
- Asimismo, dentro de este obstáculo, se han identificado factores importantes a considerar para lograr un aprendizaje significativo; tanto dentro de los procesos utilizados para la adquisición de conocimiento científico (conceptos, leyes, habilidades, etc.), como dentro de una práctica más sutil que va formando en los estudiantes actitudes frente al trabajo científico e ideas sobre la ciencia en general.
- El paso de conocimiento común a conocimiento científico requiere de un fuerte rompimiento en la estructura cognoscitiva del estudiante, lo cual exige realizar valoraciones previas acerca de las ideas y razonamientos que el alumno posee para explicar el mundo y los fenómenos que experimenta.  
El profesor deberá partir de estos conocimientos previos para impartir su materia rompiendo con el esquema positivista en el que la mente del alumno era un recipiente vacío, una "tabula rasa", que había que llenar de conocimientos.
- Las ideas previas de los alumnos tienen una enorme fuerza, persisten en la mente y está comprobado que permanecen aún en personas que han terminado licenciaturas en áreas científicas. Por lo tanto, se considera importante redefinir los objetivos de las asignaturas en ciencias, sobre todo a nivel medio superior, y las prioridades en la enseñanza de ciencias.  
Quizás sea más importante en estos tiempos el desarrollo de habilidades y actitudes, que atiborrar las mentes de fórmulas, leyes y conceptos sin aprovechar su potencial creativo, inhibiendo la curiosidad e inquietudes naturales.
- Parte del rechazo que van formando los estudiantes hacia la tarea científica, se origina en el fracaso que van teniendo a lo largo de su formación académica, fracaso que en gran medida no es responsabilidad de ellos sino de un sistema que

no ha contemplado la gran contradicción a la que el estudiante se enfrenta: por un lado una explicación de "hombre común" sobre el mundo y sus fenómenos y, por otro lado, la justificación científica abstracta y compleja.

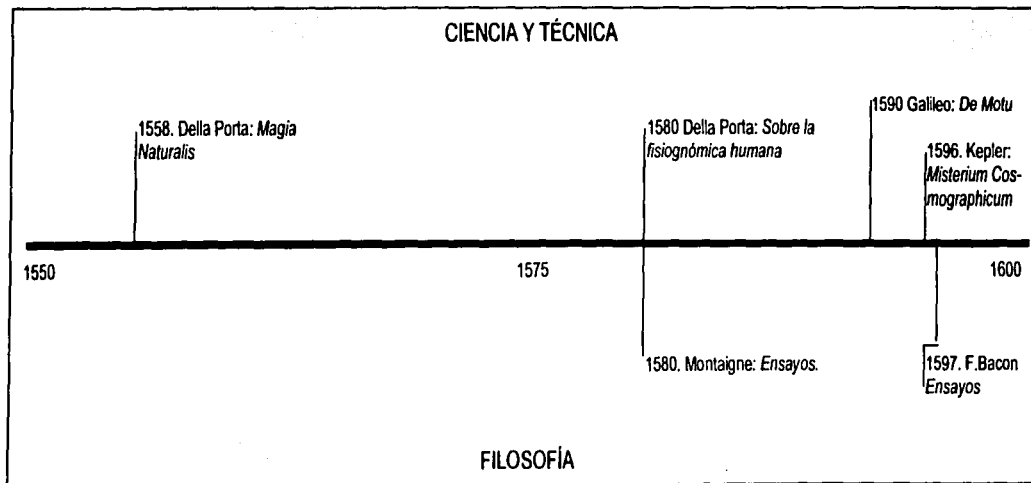
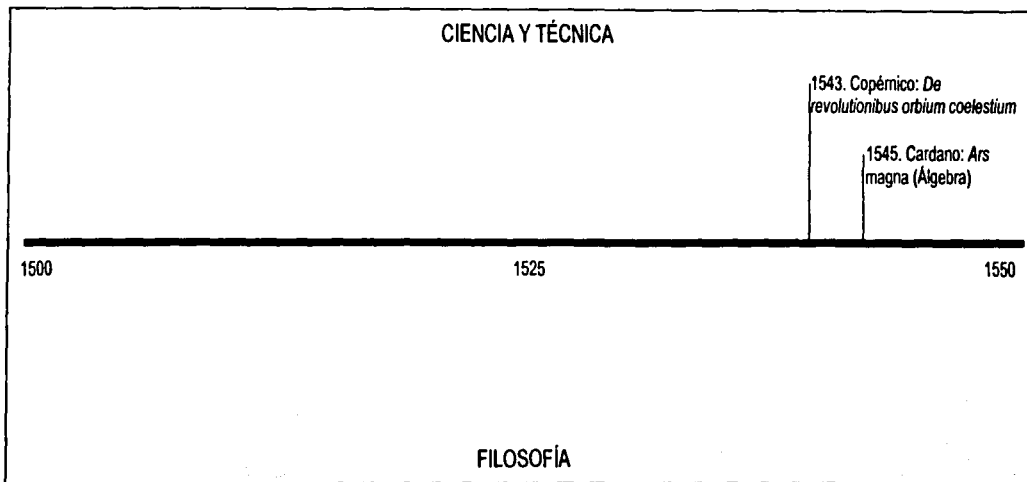
La comprensión sobre la naturaleza de las ideas previas por parte de los profesores es de vital importancia, puede convertirse en una valiosa herramienta dentro del aula y aunque los errores no se justifiquen si puede comprenderse su origen así como ser buenos indicadores del avance en el proceso de aprendizaje del estudiante.

- Es importante hacer esfuerzos por que haya una mínima alfabetización científica en la sociedad, ya que muchos errores conceptuales se transmiten por el lenguaje y la práctica cotidiana.
  
- Es tarea del cuerpo docente poner especial atención en la práctica cotidiana: en la selección de tareas, planteamiento de problemas, exposición de temas, material didáctico, evaluación etc., no sólo por la importancia de los contenidos, sino porque es en esta práctica donde se transmite lo esencial de la ciencia, cuál es su objetivo, en qué centra su atención, qué es hacer ciencia.  
Las prácticas tradicionales de enseñanza, presentan a la ciencia como un cuerpo rígido, inflexible, de verdades, leyes y formulas que hay que aprender a aplicar. Un método "preciso" que hay que seguir para llegar al conocimiento y a la explicación de los fenómenos. Todo esto ha generado concepciones erróneas de la ciencia en los estudiantes, ha propiciado la idea de que la ciencia está reservada para personas superdotadas (genios) que pueden entenderla.
  
- Se ha hecho un recorrido por las principales tendencias epistemológicas de la ciencia y su repercusión en la enseñanza generando diversos modelos didácticos. Es importante resaltar los valores, los aspectos positivos de cada una de estas tendencias, pero también hay que reconocer que, a pesar del gran esfuerzo en investigación educativa, las prácticas tradicionales predominan en las aulas de nuestro país, con consecuencias trascendentes, dejando en los estudiantes una visión muy reducida de lo que significa hacer ciencia.

- Hay evidencias de que existe una analogía entre los procesos de aprendizaje de los alumnos y la historia de la evolución de las teorías científicas. Así como históricamente ha habido fuertes resistencias al cambio de paradigmas científicos, de igual manera los estudiantes presentan una resistencia a modificar estructuras y prácticas que han llegado a dominar. Por lo tanto, se considera importante brindar las herramientas, tanto a profesores como a alumnos, para que esta resistencia sea menor y estos cambios se puedan dar de manera más natural como parte esencial de la tarea científica.
  
- Como herramientas esenciales; tanto para adquirir una visión más acertada de la ciencia, como para generar actitudes más positivas hacia el quehacer científico, se han identificado la historia y la filosofía de la ciencia. Desgraciadamente la presentación del conocimiento científico, tanto en el aula por el profesor como en libros de texto, ha sido parcial. Se presentan los resultados pero no los procesos, la ciencia como un saber absoluto que puede resolver cualquier problema y no las limitaciones, las condiciones bajo las cuales una teoría deja de funcionar. Las asignaturas de historia y filosofía de las ciencias en la formación de los estudiantes pueden ser una valiosa herramienta para mostrar la ciencia como una actividad humana, con sus limitaciones y sus grandes logros, pues desgraciadamente esta visión parcial ha menospreciado grandes hazañas.
  
- Se tiene que reconocer la riqueza de la gran cantidad de trabajos y del esfuerzo que se ha venido haciendo de unos años a la fecha en investigación educativa; esfuerzo que ha exigido la participación tanto de científicos como de filósofos, psicólogos, etc., y atender de manera especial la necesidad de que todo este trabajo tenga una repercusión positiva en la enseñanza de las ciencias.

# LÍNEA DEL TIEMPO





## CIENCIA Y TÉCNICA

1600. Gilbert: <i>De Magnete</i>	1609. Kepler: <i>Astronomia nova</i>	1635. Cavalieri: <i>Geometría</i>	1637. Descartes: <i>Geometría analítica</i>
	1610. Galileo: <i>Telescopio, Sidereus Nuncius</i>		1638. Galileo: <i>Discursos y demostraciones matemáticas</i>
	1611. Kepler: <i>Dióptrica</i>	1623. Galileo: <i>Il Saggiatore</i>	1639. Pascal: <i>Tratado de las cónicas</i>
	1612. Santorio: <i>Termómetro diferencial</i>		1643. Torricelli: <i>Barómetro de mercurio.</i>
	1614. Napier: <i>tablas logarítmicos.</i>		
	1619. Kepler: <i>Armonía del mundo.</i>	1621. Snellius: <i>refracción de la luz.</i>	

1600

1625

1650

1608. Bacon: *Redargutio philosophiarum*

1615. Galileo: *Carta a Mons. P. Dini*

1623. Bacon: *De dignitate et augmentis scientiarum*

1633. Descartes: *Tratado sobre el mundo y sobre el hombre*

1644. Descartes: *Principia philosophiae*

## FILOSOFÍA

## CIENCIA Y TÉCNICA

1657. Florencia: <i>Academia del Cimento</i>	1662. Londres: <i>Royal Society</i>	1687. Newton: <i>Philosophiæ naturalis principia mathematica.</i>	1690. Huygens: <i>Tratado sobre la Luz (Teoría ondulatoria)</i>
	1666. París: <i>Real Academia de Ciencias.</i>		1690. Papin: <i>Máquina de vapor</i>
	1666. Magalotti: <i>termómetro de alcohol.</i>	1671. Leibniz: <i>máquina de multiplicar</i>	
	1660. Malpighi: <i>Descubre los vasos capilares con microscopio.</i>	1672. Newton: <i>Nueva teoría en torno a la luz y los colores</i>	
		1675. Römer: <i>cálculo de la velocidad de la luz.</i>	

1650

1675

1700

1654. Pascal: *Memorial*

1666. Leibniz: *De arte combinatoria*

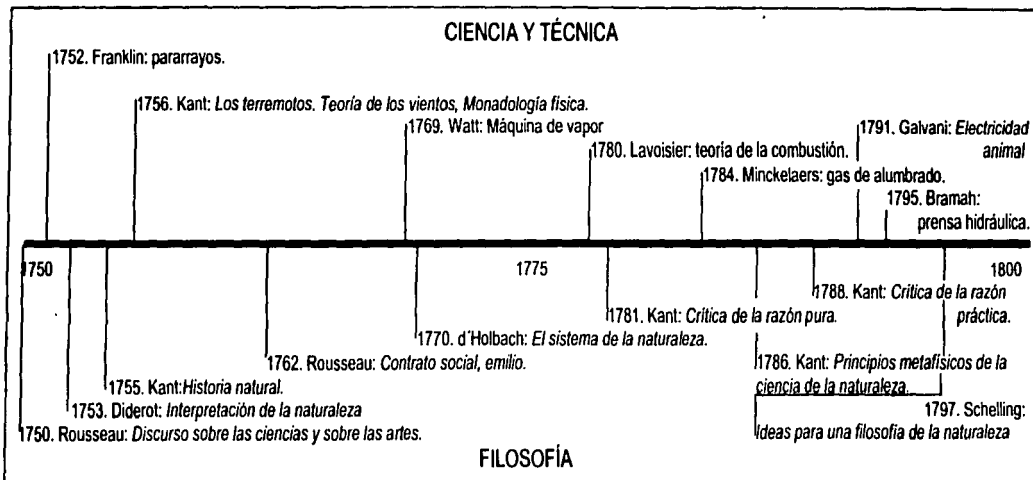
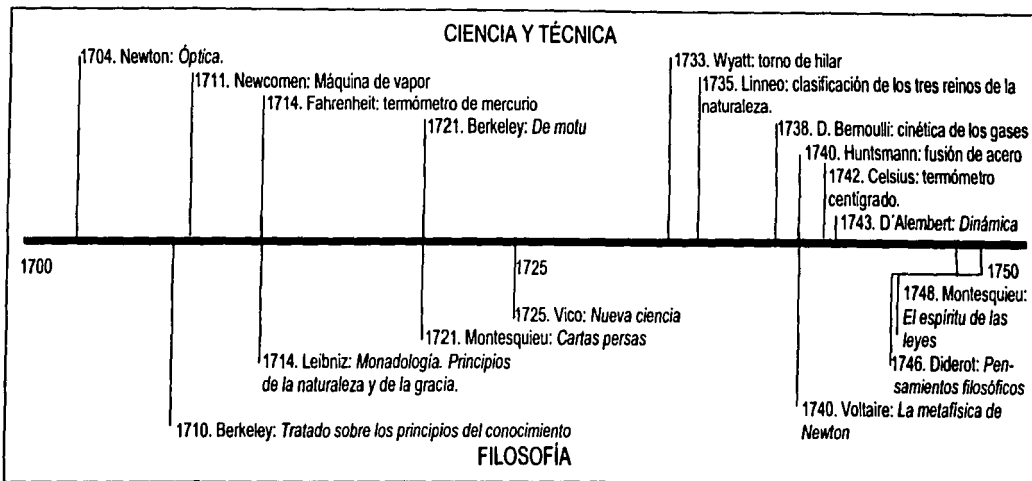
1669. Pascal: *Pensamientos (póstumos)*

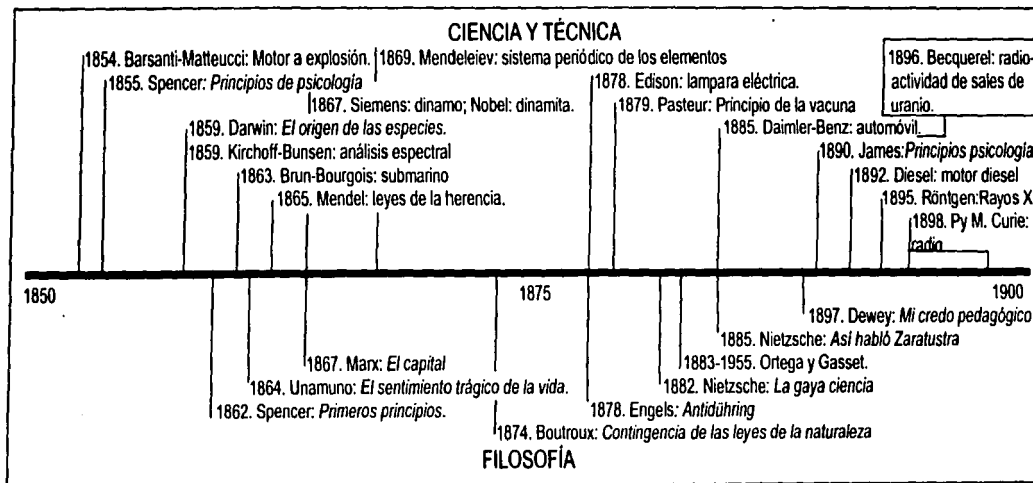
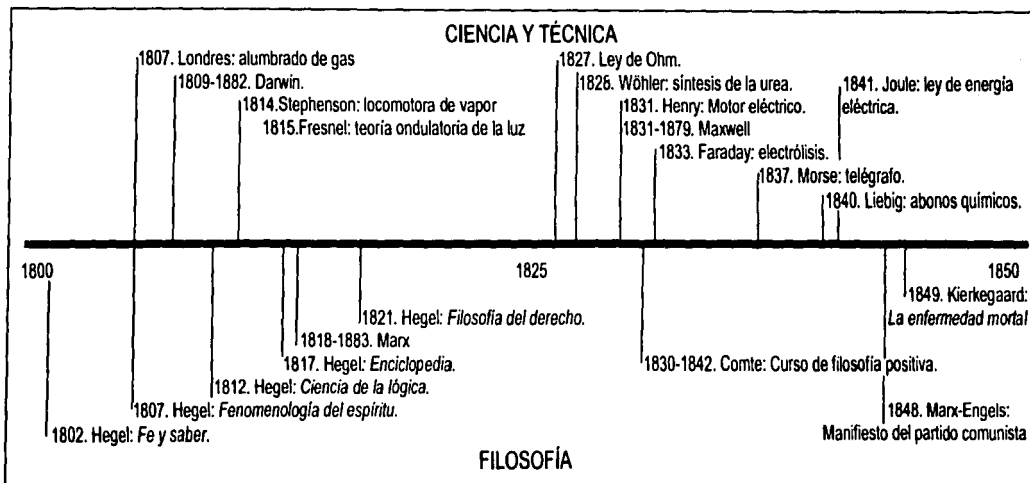
1695. Leibniz: *Nuevo sistema de la naturaleza.*

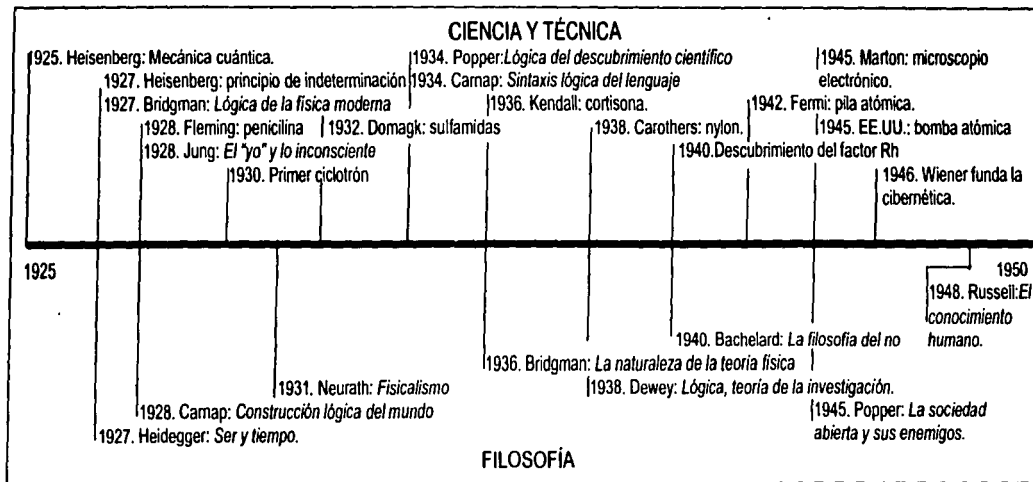
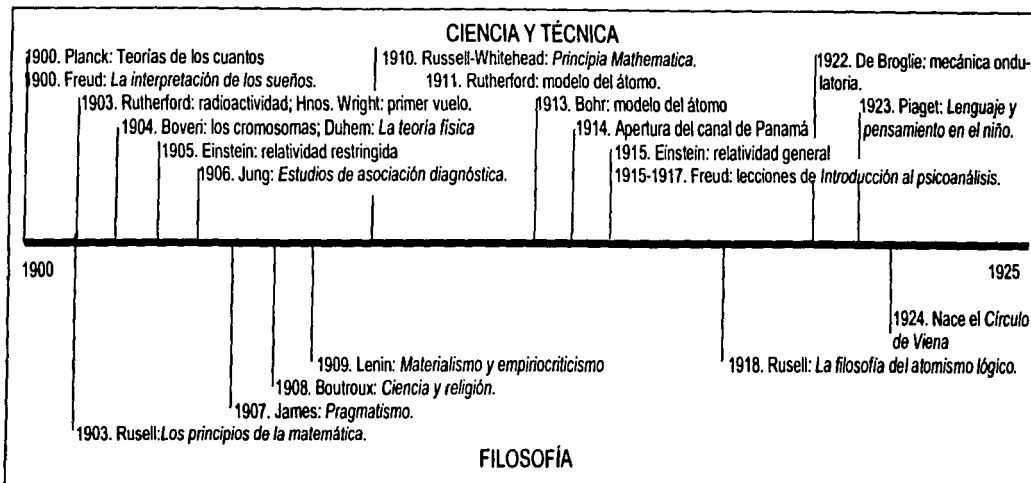
1693. Locke: *Pensamientos sobre la educación.*

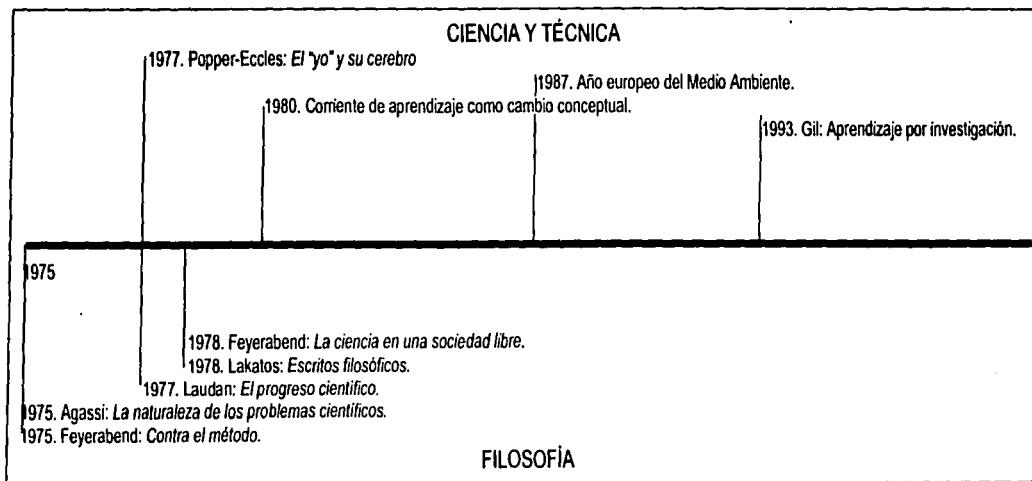
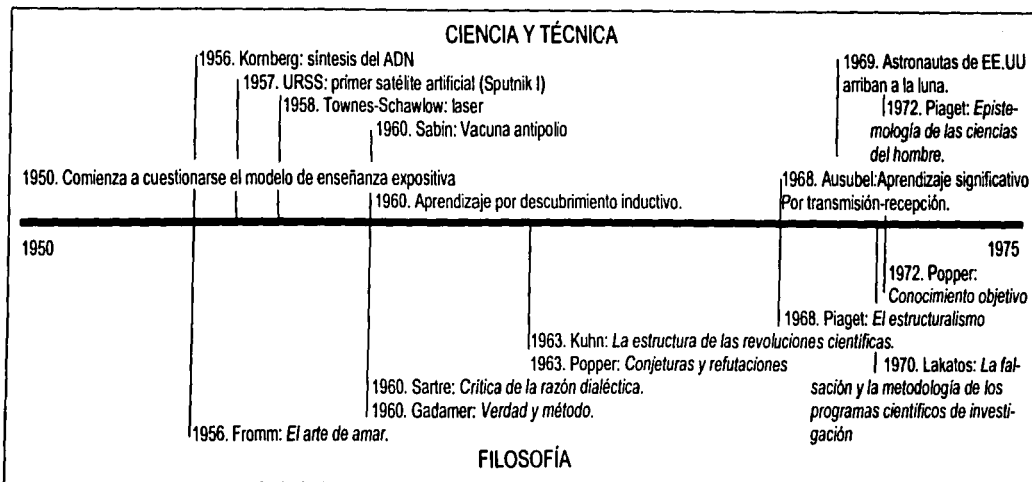
1686. Leibniz: *Discurso de metafísica*

## FILOSOFÍA









**REFERENCIAS**  
**BIBLIOGRÁFICAS**

- ALEMAÑ, R.A. y PÉREZ SELLES, J.F., Enseñanza por Cambio Conceptual: De la Física Clásica a la Relatividad, *Enseñanza de la Ciencias*, **18**[3], 463-471, 2000.
- ANAYA, A., Perfil del Profesor de Ingeniería Química, *Educación Química*, **8**[4], 216-219, 1998a
- BAENA, M.D., Pensamiento y Acción en la Enseñanza de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **18**[2], 217-226, 2000.
- BANDIERA, M., DUPRÈ, F., IANNIELLO, M.G. y VICENTINI, M., Una Investigación Sobre Habilidades Para el Aprendizaje Científico, *Enseñanza de las Ciencias*, **13**[1], 46-54, 1995.
- BUNGE, M., *Racionalidad y Realismo*, Alianza Universidad, Madrid, 1985.
- CAMPANARIO, J.M. y MOYA, A., ¿Cómo Enseñar Ciencias? Las Principales Tendencias y Propuestas, *Enseñanza de las Ciencias*, **17**[2], 179-172, 1999a.
- CAMPANARIO, J.M. y OTERO, J.C., Más Allá de las Ideas Previas Como Dificultades de Aprendizaje: Las Pautas de Pensamiento, las Concepciones Epistemológicas y las Estrategias Metacognitivas de los Alumnos de Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **18**[2], 155-169, 2000.
- CAMPANARIO, J.M., La Ciencia que no Enseñamos, *Enseñanza de las ciencias*, **17**[3], 397-410, 1999b.
- CAPRA, F., *El Tao de la Física*, Sirio, Málaga, 2000
- COHEN, I.B., *Revolución Newtoniana y las Transformaciones de Ideas Científicas*, Alianza, Madrid, 1983.
- COPLESTON, F., *Historia de la Filosofía*, Ariel, México, 1983.
- CÓRDOVA, J.L., Enseñar a Pensar (Parte I), *Educación Química*, **9**[1], 54-55, 1998a.
- CÓRDOVA, J.L., Enseñar a Pensar (Parte II): De Monstruos y Demostraciones, *Educación Química*, **9**[3], 170-172, 1998b.



CÓRDOVA, J.L., Enseñar a Pensar (Parte III y Última): El Apoyo de la Aproximación Histórica, *Educación Química*, **9**[4], 244-247, 1998c.

CUDMANI L.C. DE., Ideas Epistemológicas de Laudan y su Posible Influencia en la Enseñanza de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **17**[2], 327-331, 1997.

CUDMANI, L.C. DE., PESA, M.A. y SALINAS, J., Hacia Un Modelo Integrador Para el Aprendizaje de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **18**[1], 3-13, 2000.

DE POSADA APARICIO, J.M., Concepciones de los Alumnos de 15-18 años Sobre la Estructura Interna de la Materia en el Estado Sólido, *Enseñanza de las Ciencias*, **11**[1], 12-19, 1993.

DRIVER, R., Un Enfoque Constructivista Para el Desarrollo del Currículo de Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **6**, 109-120, 1988.

DUSCHL, R., Más Allá del Conocimiento: los Desafíos Epistemológicos y Sociales de la Enseñanza Mediante Cambio Conceptual, *Enseñanza de las Ciencias*, **13**[1], 1995.

EINSTEIN, A., e INFELD, L., *La Evolución de la Física*, SALVAT, México, 1984.

FELDER, R.M. y BRENT, R., Navegando el Disparejo Camino a la Instrucción Centrada en el Alumno, *Educación Química*, **9**[4], 221-226, 1998.

FEYERABEND, P., *Adiós a la Razón*, Tecnos, España, 1987.

FEYERABEND, P., *Contra el Método*, Ariel, Barcelona, 1981.

GALLEGOS, J.A., Reflexiones Sobre la Ciencia y la Epistemología Científica, *Enseñanza de las Ciencias*, **17**[2], 321-326, 1997.

GALLEGOS, R., *Educación Holista*, Pax México, México, 1999.

GARRITZ, A., Veinte años de la Teoría del Cambio Conceptual, *Educación Química*, **12**[3], 123-126, 2001.

GIL, D., Contribución de la Historia de la Filosofía de las Ciencias al Desarrollo de un Modelo de Enseñanza-Aprendizaje Como Investigación, *Enseñanza de las Ciencias*,

**11[2], 197-212, 1993.**

**GIL, D., Relaciones entre Conocimiento Escolar y Conocimiento Científico, *Investigación en la Escuela*, 23, 17-32, 1994.**

**GÓMEZ MOLINÉ, M.R. y SANMARTÍ, N., La Didáctica de las Ciencias: una Necesidad, *Educación Química*, 7[3], 156-168, 1996.**

**GÓMEZ MOLINÉ, M.R. y SANMARTÍ, N., Reflexiones Sobre el Lenguaje de la Ciencia y el Aprendizaje, *Educación Química*, 11[2], 266-273, 2000.**

**GUTIERREZ R., Introducción al Método Científico, Esfinge, México, 1989.**

**GUZMÁN, J.C. y HERNÁNDEZ, G., *Implicaciones Educativas de Seis Teorías Psicológicas*, Facultad de Psicología UNAM, México, 1993.**

**HIERREZUELO, J. y MONTERO, A., *La Ciencia de los Alumnos: Su Utilización en la Didáctica de la Física y Química*, Fontamara, 2002.**

**HODSON, D., Hacia un Enfoque Más Crítico del Trabajo de Laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, 12[3], 299-313, 1994.**

**KUHN, T.S., *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, 2002.**

**LAUDAN, L., *El Progreso y sus Problemas: Hacia una Teoría del Conocimiento Científico*, Encuentro Ediciones, Madrid, 1986.**

**LLEDÓ, A.I., El Diseño y Desarrollo de Materiales Curriculares en un Modelo Investigativo, *Investigación en la Escuela*, 21, 9-19, 1993.**

**MATTHEWS, M.R., Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: La Aproximación Actual, *Enseñanza de las Ciencias*, 12[2], 255-277, 1994a.**

**MATTHEWS, M.R., Vino Viejo en Botellas Nuevas: Un Problema con la Epistemología Constructivista, *Enseñanza de las Ciencias*, 12[1], 79-88, 1994b.**

**MELLADO, V. y CARRACEDO, D., Contribuciones de la Filosofía de la Ciencia a la**

Didáctica de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **11**[3], 331-339, 1993.

NÍAZ, M., Más Alla del Positivismo: Una Interpretación Lakatosiana de la Enseñanza de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**[1], 97-100, 1994.

PEDRINACI, E., Epistemología, Historia de las Ciencias y Abejas, *Investigación en la Escuela*, **23**, 95-102, 1994.

PÉREZ TAMAYO, R., *Palabras Académicas: Conferencias 1984-1993*, El Colegio Nacional, México, 1994.

POZO, J.A., SANZ, A., GÓMEZ CRESPO, M.A. y LIMÓN, M., Las Ideas de los Alumnos Sobre la Ciencia: Una Interpretación Desde la Psicología Cognitiva, *Enseñanza de las Ciencias*, **9**[1], 83-94, 1991.

REALE, G. y ANTISERI, D., *Historia del Pensamiento Filosófico y Científico*, HERDER, Barcelona, 1988. Tomos I, II y III

ROCHA, A., SCANDROLI, N., DOMÍNGUEZ, J.M. y GARCÍA-RODEJA E., Propuesta Para la Enseñanza del Equilibrio Químico, *Educación Química*, **11**[3], 2000.

RUGARCÍA, A., Los Ingenieros, la Sociedad y su Formación, *Educación Química*, **9**[2], 107-111, 1998a.

RUGARCÍA, A., El Ingeniero Químico para el Siglo XXI, *Educación Química*, **9**[1], 46-52, 1998b.

SERRANO, J.A., *La Objetividad y las Ciencias*, Trillas, México, 1981.

SOLAZ, J.J. y MORENO, M., Enseñanza/Aprendizaje de la Ciencia Versus Historia de la Ciencia, *Educación Química*, **9**[2], 80-85, 1998.

SOLBES, J. y TRAVER, M.J., La Utilización de la Historia de las Ciencias en la Enseñanza de la Física y la Química, *Enseñanza de las Ciencias*, **14**[1], 103-112, 1996.

SOLBES, J. y TRAVER, M.J., Resultados Obtenidos Introduciendo Historia de la Ciencia en las Clases de Física y Química: Mejora de la Imagen de la Ciencia y

**Desarrollo de Actitudes Positivas, *Enseñanza de las Ciencias*, 19[1], 151-162, 2001.**

**VALDEZ, S., Ideas Previas en Estudiantes de Bachillerato Sobre Conceptos Básicos de Química Vinculados al Tema de Disoluciones, *Educación Química*, 9[3], 155-162, 1998.**

**Página de la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura: <http://www.oei.org.co/oeivirt/index.html>**