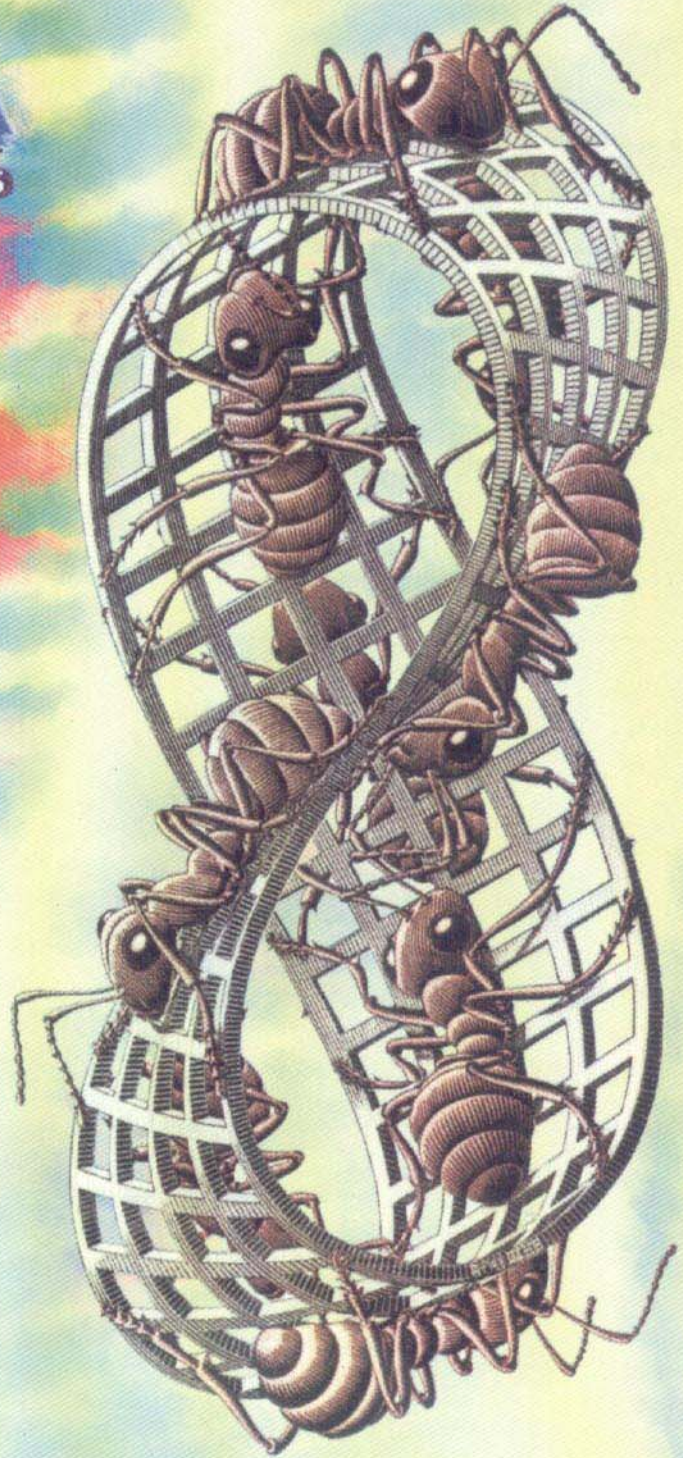


# TEA

TECNE, EPISTEME Y DIDAXIS



**REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**  
AÑO 1998 Nº 3 SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

**Revista**

**CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

Número 3

Año 1998

**Rector**

Gustavo Téllez Iregui

**Vicerrector Académico**

Rafael Rodríguez Rodríguez

**Vicerrector Administrativo**

Jorge Hernández Guzmán

**Comité Editorial**

RÓMULO GALLEGU-BADILLO

Decano de la Facultad

ELSA TALERO

Jefe del Dpto de Biología

MARÍA MERCEDES AYALA

Jefe del Dpto. de Física

EMILIANO PALACIOS

Jefe del Dpto de Matemáticas

MAURO PINZÓN RODRÍGUEZ

Jefe del Dpto. de Química

**Comité asesor**

Fidel Antonio Cárdenas Salgado

Lidia Reyes

Gloria García de García

Germán Bautista

Edgar Andrade Londoño

Royman Pérez Miranda

Rosalba Pulido de Castellano

Juan Carlos Orozco Cruz

Luis F. Maldonado

Hernán Díaz

© UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA

NACIONAL 1998

FACULTAD DE CIENCIA

Y TECNOLOGÍA

Dirección: Calle 72 No. 11-86 Of. 222-B

Fax: 3473551

Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia

Diagramación e impresión  
Arte y Fitolito "ARFO" Ltda  
Carrera 15 No. 53-86  
Tels.: 2355968 -2175794  
Santa Fe de Bogotá. D.C

## ÍNDICE

### Editorial

Acciones de maestros de ciencias: creencias, roles, metas y contextos en la enseñanza y el aprendizaje.

*LILIA REYES HERRERA PH. D. y LUIS ENRIQUE SALCEDO PH. D.*

Línea de inteligencia artificial y procesos de razonamiento.

*Luis FACUNDO MALDONADO GRANADOS, PH. D*

Resolución de problemas y enseñanza de las ciencias naturales

*MARGIE N. JESSUP C. PH. D.*

Desarrollo y evaluación de los procesos de razonamiento complejo en ciencias.

*FIDEL ANTONIO CÁRDENAS SALGADO PH. D.*

La elaboración de los conceptos científicos.

*FABIO VÉLEZ U. PH. D.*

Línea de investigación. La relación entre conocimiento común y conocimiento científico en el contexto de la enseñanza, aprendizaje y cambio conceptual de las ciencias.

*ALFONSO CLARET ZAMBRANO PH. D.*

**EDITORIAL**

Si bien las primeras ideas acerca de la organización y puesta en marcha de un programa interinstitucional de Doctorado en Educación son anteriores a 1990: fue solamente en agosto del mismo año cuando las universidades de Antioquia, Valle y Pedagógica Nacional firmaron el Convenio de Cooperación Interinstitucional, para la ejecución conjunta de dicho programa.

A partir de ese momento, académicos de las tres universidades se dieron a la compleja y difícil tarea de redactar una propuesta de doctorado que recogiera no solamente las ideas existentes al respecto en las tres instituciones, sino que, a su vez, integrara y proyectara la investigación en educación a nivel nacional. Este trabajo se vio reforzado y complementado posteriormente en 1991, por el acuerdo interuniversitario firmado el 12 de junio, cuando entraron a formar parte del proyecto la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Industrial de Santander, quedando así integrado el grupo de universidades, cuyos rectores firmaron el Convenio Interinstitucional 139 el 13 de octubre de 1993, que permite la realización del doctorado.

La propuesta preparada y perfeccionada para el programa de doctorado por las cinco universidades se envió a la dirección del ICFES en abril de 1995 para su estudio y aprobación; luego de los procesos respectivos de evaluación de rigor el Ministerio de Educación Nacional autorizó su funcionamiento mediante la Resolución 1991 del 16 de mayo de 1996. Actualmente se ofrece formación doctoral dentro de este programa en las siguientes áreas: Pedagogía Experimental y Teórica, Historia de la Educación y la Pedagogía, Pedagogía Comparada, Lenguaje y Educación, Educación Matemática y Educación en Ciencias Naturales.

A nivel nacional, la convergencia de las cinco universidades en el desarrollo del programa de doctorado representa un paso importante en el proceso de consolidación de una cultura de la interinstitucionalidad y en el fortalecimiento de las posibilidades investigativas en educación, al tiempo que es una contribución hacia el fortalecimiento del Sistema Universitario Estatal, SUE.

A escala particular, en la Universidad Pedagógica Nacional y especialmente para la Facultad de Ciencia y Tecnología a la cual está adscrito el programa, el ofrecimiento de formación doctoral en el área de Educación en Ciencias Naturales representa una síntesis y una proyección de los esfuerzos y logros que han venido realizando en investigación los departamentos de Química, Biología, Física y Tecnología en los últimos años. El doctorado en la Facultad se constituye en un eje vertebrador de las acciones académicas e investigativas de esta unidad estructural de la Universidad.

Las líneas de investigación propuestas dentro del área representan de una parte, la proyección y consolidación de un trabajo largo y laborioso desarrollado por sus directores y, de otra, un esfuerzo común de la academia de la Facultad de Ciencia y Tecnología por investigar aspectos fundamentales de la acción educativa tales como, el pensamiento y la acción de los docentes y de los estudiantes, la resolución de problemas, la evaluación, la evolución de los conceptos científicos, las relaciones entre el conocimiento común y el conocimiento científico y la inteligencia artificial.

Una de las labores en las cuales ha venido vehementemente comprometida la Facultad de Ciencia y Tecnología durante los últimos años ha sido la publicación de una revista de carácter científico que, a manera de órgano divulgativo, permita llevar a la comunidad

académica en Educación en Ciencias no solamente información sobre reseñas bibliográficas, eventos académicos, experiencias innovativas en el aula, las proyecciones y perspectivas de la institución, sino especialmente los resultados de las investigaciones que se llevan a cabo en esta unidad académica y en toda la Universidad.

Dentro del contexto anterior y dada la importancia que reviste el programa de doctorado, se ha considerado pertinente dedicar el presente número a la divulgación de las líneas de investigación, con las cuales se ha dado comienzo al doctorado en el área de Educación en Ciencias Naturales en la Universidad Pedagógica Nacional.

Se espera que a partir de los lineamientos generales presentados en cada una de las líneas, se generen proyectos de investigación cuya realización produzca aportes relevantes para la comunidad académica interesada en la Educación en Ciencias.

**Fidel Antonio Cárdenas Salgado.  
Coordinador Doctorado en Educación:  
Área Educación en Ciencias Naturales.**

**ACCIONES DE MAESTROS DE CIENCIAS:  
CREENCIAS, ROLES, METAS Y CONTEXTOS EN LA ENSEÑANZA Y EL  
APRENDIZAJE**

***Lilia Reyes Herrera Ph.D.\* y Luis Enrique Salcedo Ph.D.\*\****

**Abstract**

*Although science curricula vary widely among countries, states, school districts, individual schools and individual classrooms, the understanding and enhancement of science teaching and learning is so limited in most of them that it is a global concern. Teacher's conceptions play an important role in the implementation of a science curriculum, consequently; the study and development of teacher conceptions of the nature of science education has become one of the most important goals of the science education community. Although in the last two decades this has been a prolific area of research, it is yet to be researched more deeply. The overall purpose of this research is to explore the nature of the referents used by science teachers when engaged in science instruction and to elucidate patterns of beliefs, goals, roles and context which guide teachers actions and interactions. The kind of research we are doing argue for a change in teachers' epistemology empowering them to take informed decisions to break away from dominant practices which have been present in the community without deep questioning.*

El diseño y desarrollo de esta línea de investigación responde a la necesidad de consolidar procesos diferentes para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en nuestro país. En particular pretende ser una estrategia de formación, capacitación y fortalecimiento de recursos humanos de alta calidad investigativa para el desarrollo de la investigación en este campo. La estructura de esta línea integra coherentemente investigaciones en el campo de la educación en ciencias que proveen elementos para ampliar las fronteras del conocimiento y dar posibles respuestas a lo que está sucediendo actualmente en la mayoría de las clases de ciencias.

Se propone además como un espacio de exploración, reflexión, análisis y construcción de conocimientos en torno a las relaciones entre las acciones de los profesores de ciencias y sus referentes filosóficos, epistemológicos, sociológicos y disciplinares. En la medida en que por medio de la investigación educativa, se construyan nuevos significados acerca de las creencias, roles, metas y contextos en los cuales se halla embebida la acción del docente, ya sea en la educación básica, media o superior, se abrirán nuevas perspectivas de interpretación y acción de las prácticas pedagógicas en ciencias. Mediante el desarrollo de esta investigación se pone en evidencia de manera documentada la necesidad de introducir cambios en los procesos de enseñanza y de aprendizaje que respondan de manera más coherente a los problemas que presenta la educación en ciencias en nuestro país.

La investigación pedagógica en el área de las ciencias realizada en los últimos años ha permitido conocer los principales problemas que se presentan en los procesos de

---

\* Profesora asociada Universidad Pedagógica Nacional Departamento de Biología.

\*\* Profesor asociado Universidad Pedagógica Nacional. Departamento de Química.

enseñanza y aprendizaje especialmente en el nivel secundario. Se ha señalado que la introducción de conceptos se realiza de manera arbitraria, sin tener en cuenta las ideas previas de los alumnos (Carrascosa, 1987; Salcedo 1991) y además haciendo énfasis en definiciones y en aplicaciones de fórmulas matemáticas. Por otra parte, las prácticas de laboratorio no contribuyen a familiarizar a los estudiantes con las características del trabajo científico ni al fortalecimiento de aprendizaje significativo de conceptos (Payá, 1991 Salcedo, 1994). La resolución de problemas de lápiz y papel tan ampliamente utilizada por los profesores de Química, como recurso didáctico no favorece cambios metodológicos y conceptuales en los estudiantes (Gil, 1988; Calderón, Prieto y Ruiz, 1994). En este contexto, tópicos tales como la evaluación de la enseñanza y del aprendizaje han recibido poca atención por parte de los investigadores y se plantea la urgente necesidad de realizar estudios en este campo (Salcedo y otros, 1996).

A nivel universitario la investigación pedagógica en ciencias ha sido muy esporádica y parece reproducirse la situación encontrada en el nivel secundario. En particular, nos interesa abordar la situación de las instituciones formadoras de docentes, pues sin duda las fallas que allí se presentan inciden directamente en la calidad de la educación en ciencias a nivel secundario. En este contexto el desarrollo del campo de investigación relacionado con el profesorado ha sido de particular importancia.

Partimos del supuesto de que los profesores de ciencias tienen sus propias concepciones (formas de pensamiento, epistemologías, creencias) sobre el conocimiento, la ciencia (Pope & Scott, 1983), la enseñanza (Hewson & Hewson 1987), el aprendizaje (Aguirre, Haggerty & Linder, 1990) y demás aspectos inherentes a la educación en ciencias, que influyen de una u otra manera en su actuación en el aula y que incluso pueden entrar en conflicto con los resultados mayoritariamente aceptados en la investigación educativa.

Se trata entonces de estudiar el pensamiento de los profesores de ciencias específicamente sus epistemologías con el fin de posibilitar los necesarios cambios que efectivamente contribuyan al mejoramiento de la Educación en ciencias en nuestro medio. Este planteamiento se hace ya que muchos profesores de ciencias le asignan mayor importancia a la transmisión y asimilación de conocimientos que a la comprensión de la naturaleza de las ciencias (Hodson, 1985), y al desarrollo de actitudes científicas y actitudes hacia las ciencias (Schibecci, 1982).

Hay evidencia de que muchos profesores de ciencia poseen y transmiten una visión de carácter empirista-inductivista de las ciencias con frecuencia asociada a una visión de carácter mítico-mágico. En este contexto, la enseñanza se considera como actividad que clarifica los contenidos que se presentan en los textos, que explica la solución de problemas” (ejercicios de aplicación a final de capítulo) como comprobación de leyes y teorías a través de las prácticas de laboratorio. Estos profesores frecuentemente conciben el proceso de aprendizaje como de asimilación solitaria y memorística (la mente como tabula rasa), pasiva y acrítica de los nuevos conocimientos a la estructura cognoscitiva que ya se posee (Porlán 1989) y el proceso de enseñanza como una actividad centrada en la transmisión de contenidos.

Ante esta situación, se evidencia una urgente necesidad de replantear las bases epistemológicas, psicológicas y didácticas de los currículos de ciencias, a la luz de planteamientos actuales de la filosofía de las ciencias, concretamente de la epistemología, de la psicología cognitiva y de los resultados de las investigaciones en estos



campos, así como también se hace necesario un enfoque diferente en los programas de formación inicial y permanente de profesores de ciencias.

La formación inicial y permanente del profesorado ha de plantearse en íntima relación con los avances de la investigación pedagógica y con una aspiración teórica, es decir con el objetivo explícito de mostrar el carácter de cuerpo coherente de conocimientos alcanzados por la investigación en la educación de ciencias (Furia, 1992); pues existe un grave peligro de que las profundas transformaciones asociadas a las orientaciones constructivistas hoy emergentes queden desvirtuadas en su aplicación en la práctica (Gil, 1991). No basta con diseñar cuidadosa y fundamentadamente un currículo, si el profesorado no ha recibido la formación adecuada para desarrollar su labor educativa orientada por los principios epistemológicos, psicológicos y didácticos del currículo propuesto y si sus concepciones sobre las ciencias, su enseñanza y su aprendizaje están en conflicto con tales principios (Brisca, 1991) De esta manera los programas de formación inicial y permanente de profesores de ciencias deben propiciar el estudio y la evolución de las concepciones sobre las ciencias, su enseñanza y su aprendizaje para actuar consecuentemente de tal manera que el profesor pueda aproximar su trabajo docente al logro del progreso intelectual, moral, ético y social de sus alumnos generando en ellas evoluciones conceptuales, metodológicas y actitudinales.

Los profesores, principalmente con experiencia, tienen normas y principios de actuación en la práctica que guían su planificación y su conducta interactiva. Estas normas y principios configuran un sistema dentro del pensamiento del profesar a la manera de creencias. Por lo tanto, si consideramos que el papel del profesar debe ser un mediador entre la cultura y las estudiantes utilizando el curriculum, entonces adquieren un papel de primera importancia las concepciones de los profesores en la modelación de los contenidos y, en general, todas aquellas perspectivas profesionales que se relacionan más directamente con las decisiones que el profesar toma cuando lleva a cabo su práctica pedagógica. Las creencias del maestro serán en parte, responsables de los significados que él atribuye a las componentes del curriculum y a las formas de desarrollarla, sea cual sea el grado de definición con que este se presente.

### **Propósito de esta línea de investigación**

El propósito de este estudio es explorar las acciones de los profesores y de las estudiantes en aulas de clase de ciencias de diferentes gradas del sistema escolar y analizar cómo estas acciones están influenciadas por referentes derivados de su historia personal y del grupo social al cual pertenecen. Se dará especial consideración:

- 1 A la filosofía personal que posee cada maestro en torno al por qué, al qué y al para qué del conocimiento científico, de la enseñanza y del aprendizaje.
2. A referentes sociales asociadas con las formas en las cuales el maestro construye los ambientes para el trabajo de sus estudiantes.
3. A los conocimientos personales sobre las disciplinas específicas y en particular a sus ideas y acciones sobre prácticas de laboratorio, resolución de problemas, actitudes hacia la ciencia y el aprendizaje, evaluación de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

El entender por ejemplo las creencias de profesores acerca de la naturaleza de la ciencia abrirá caminos que facilitarán el entendimiento de la práctica de maestras en diferentes contextos colombianos, pues en la medida en que el maestra cuestione qué entiende por ciencia; reflexione y se apropie de sus concepciones, podrá trabajar científicamente y asumir roles coherentes, como también crear expectativas e incentivar actitudes apropiadas en sus estudiantes hacia el aprendizaje de la ciencia (Reyes, 1993).

### **Importancia de esta línea de investigación**

La investigación en esta línea es importante al menos por dos razones: Primera, parece ser una de los primeros estudios sistemáticos de investigación interpretativa realizado en aulas de enseñanza de ciencias en Colombia que, desde el punto de vista de los maestros investigadores comprometidos, analiza holísticamente sus propias acciones e interacciones. Segunda, se sugieren tres importantes hipótesis cuya comprobación basada en evidencia proveniente de los datos de la investigación apartará elementos indispensables para el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias.

Estas hipótesis son.

- Los desequilibrios de poder entre el maestro y el estudiante representan importantes obstáculos para el aprendizaje de los estudiantes.
- Planteamientos filosóficos coherentes con el empirismo dificultan la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Estos planteamientos condicionan las acciones de los profesores de ciencias.
- Al experimentar estrategias de formación inicial y permanente del profesorado, será posible transformar las acciones de los profesores de ciencias

Parlo tanto la reflexión crítica de la propia acción de los maestros constituye una valiosa herramienta intelectual para el avance de la reforma de la educación en ciencias.

### **El Problema**

El problema central de este estudio es analizar referentes (culturales, sociales, epistemológicas, filosóficos, metodológicos) de acciones y cómo estas acciones e interacciones del maestro limitan o favorecen el aprendizaje de los estudiantes y de los mismos maestros. Este estudio también analiza la influencia de la retención por parte de los maestros de formas establecidas de enseñanza que pueden inhibir su propia habilidad para introducir procesos de cambio. Por lo tanto, como resultado de estas acciones los estudiantes no están adecuadamente y oportunamente preparadas para tener éxito en esta sociedad que evoluciona tan rápidamente en materia científica y tecnológica.

La construcción de una visión teórica por parte de cada profesor puede proveer un punto de partida para iniciar los cambios requeridos en la práctica educativa y en la reforma de la enseñanza de las ciencias hacia el mejoramiento de los ambientes de aprendizaje de los estudiantes. La visión teórica del maestro trabajará como un marco de referencia y como una guía que oriente las acciones del maestro de ciencias.

## PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las respuestas a las siguientes preguntas son importantes consideraciones que contribuyen a elaborar una marca de referencia para pensar y actuar acerca de la educación en ciencias: ¿Cuáles son los referentes básicos de las acciones del maestro? ¿Cómo estos referentes se ven afectados por los contextos en los cuales se presentan las acciones del maestro? ¿Cómo se ven afectadas las acciones del maestro por las creencias que consciente o inconscientemente posee? ¿Cuál es la relación entre las acciones del maestro y las metas que él o ella han identificado para el aprendizaje de sus estudiantes? ¿En qué medida los propósitos del maestro inherentes al desarrollo de su práctica son coherentes con sus creencias en los contextos en los cuales el currículum de ciencias es desarrollado? ¿Cuáles son las interacciones entre el sistema social del aula de clase y otros sistemas de influencia que también limitan las acciones del maestro? Para responder estas y otras preguntas relacionadas, nos proponemos el desarrollo de proyectos tales como:

1. Relaciones entre creencias del maestro y construcción de conocimiento en salones de ciencias en secundaria.
2. Concepciones de ciencia, enseñanza y aprendizaje en programas de química, física y biología.
3. Influencia de referentes constructivistas en el cambio de roles en maestros y estudiantes de ciencias a nivel secundario
4. Contextos de aprendizaje en un salón de ciencias del quinto grado de primaria
5. Impacto de mitos culturales en el aprendizaje y enseñanza de las ciencias.
6. Principios epistemológicos del pensamiento disciplinar y pedagógico de maestros

## CONTEXTO DE ESTE ESTUDIO

A comienzos de la década del noventa profundos cambios socio-políticos en Colombia involucraron nuevas direcciones, nuevos retos y nuevos compromisos para el proceso educativo. Como resultado de estos nuevos planteamientos socio-políticos y del análisis de necesidades del pueblo colombiano se promulgó una nueva Constitución Política Nacional (Colombia, Congreso de la República, 1991) Esta situación dio origen también a una nueva Ley General de Educación que guía y organiza la educación en el país (Colombia, Congreso de la República, 1993)

**Contexto específico.** Colombia tiene una población de cerca de 37 millones de habitantes y un área geográfica de 1.139.000 kilómetros cuadrados. Es considerado como un país de ingreso medio con un promedio de inflación del 25%. De acuerdo con Rodríguez (1988), 86% de la educación primaria, 62% de la secundaria y 3% de la educación preescolar es suministrada por el gobierno. El ministro de educación es designado por el presidente de la República y la mayoría de las políticas educativas del país provienen del Ministerio de Educación Nacional. Los estudiantes se mueven a través de niveles en su educación formal un año de preescolar, nueve años de educación básica (cinco primaria y cuatro secundaria), dos años de educación media vocacional y cuatro o

cinco años de educación superior en una universidad La educación no-formal no sigue un currículum secuencial y no conduce a títulos formales.

De acuerdo con Erazo (1996), el modelo educativo que ha predominado en nuestro país se caracteriza por “una visión simplista y reduccionista del proceso educativo, dentro del cual el conocimiento es producido y desarrollado por otros, en otras latitudes y para adquirirla sólo se requiere procesos de transmisión-asimilación, catalizados por profesores, en las instituciones educativas creadas casi exclusivamente para tal efecto” (p. 3). La capacidad de producción y desarrollo propio del conocimiento ha sido subvalorada en nuestra medio con gran detrimento para la capacidad de autogestión. Esta situación contribuye a prolongar nuestra dependencia de concepciones foráneas llevándonos cada vez más a perpetuar el modelo de sociedad de consumo que depende del desarrollo de bienes y servicios educativos de otros países y nos lleva a conformarnos con la triste alternativa de adaptar modelos extranjeras que en la mayoría de los casos no satisfacen nuestras necesidades ni se ajustan a nuestros patrones culturales. Una verdadera educación de calidad en nuestra medio implica desarrollo de modelos propias que respondan a la idiosincrasia de nuestras comunidades y que favorezcan la autonomía y el auto desarrollo de los estudiantes y demás agentes educativos.

Por ello uno de los retos que afronta la educación actual en Colombia, es la formación de recursos humanos con capacidad de producción de conocimientos científicos y tecnológicos para enfrentar sus problemas y producir nuevos bienes y servicios, a fin de asegurar el bienestar de su población y participar en la dinámica mundial como nación independiente y competitiva Por tanto requiere la apropiación social de la ciencia y la tecnología y la formación de ciudadanos capaces de comprenderlas y producir conocimientos en estas áreas (CONPES, 1994).

El problema de la educación no radica propiamente en que las escuelas estén trabajando peor que en el pasado. Lo que puede suceder es que las demandas del mundo y de la sociedad actual son tan grandes que la escuela no puede dar respuestas satisfactorias a esas demandas y preparar adecuadamente a los estudiantes para vivir una vida productiva en un mundo que cambia velozmente debida a los grandes avances tecnológicos. También puede suceder que a pesar de que la mayoría de maestras hablan sobre el cambio y reconocen la necesidad de cambiar, ellas no pueden cambiar o el cambio que se da no es efectiva ya que la mayoría de ellas no posee referentes ni imágenes necesarias para implementar y sostener los cambios anhelados (Reyes, 1993). Sin embargo los investigadores educativos han demostrado que hay alternativas a las formas tradicionales de pensar y actuar en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Una de estas alternativas es la de acoger los planteamientos constructivistas y emprender investigaciones que proporcionen al maestra la fortaleza necesaria para reflexionar en su propio aprendizaje y en la construcción de mejores ambientes de aprendizaje para sus estudiantes.

## **MARCOS CONCEPTUALES**

En la construcción del marco teórico para esta línea de investigación hemos tomado proposiciones de cuatro tendencias teóricas: el constructivismo con su enfoque radical y socio-cultural; los enfoques para el análisis de los sistemas sociales desde el punto de vista de los actores y de la sociedad; la teoría de la acción holística y las orientaciones de la pedagogía crítica.

## Constructivismo

En este estudio acogemos la posición filosófica del constructivismo con el entendimiento y la convicción de que el constructivismo no debe ser considerado como una nueva verdad para reemplazar planteamientos objetivos. Por el contrario, el constructivismo es una forma de pensar acerca del conocimiento, un referente para construir modelos de aprendizaje, de enseñanza, de renovación curricular (Tabin, 1993). Glasersfeld (1995; p. 51) sugiere las siguientes principios como fundamentos de la epistemología constructivista radical:

- El conocimiento está en la mente de las sujetos que conocen y la que el ser humana conoce ha sido construido a partir de la experiencia previa.
- El conocimiento no es recibido pasivamente a través de los sentidos o por medio de la transmisión. Por el contrario el conocimiento es activamente construido por el sujeto que conoce.

Estos planteamientos son de gran importancia para el desarrollo curricular; por ejemplo, la idea de curriculum de interés emancipatorio explorada por Grundy (1987) proporciona una perspectiva promisorio para analizar aspectos fundamentales del constructivismo crítico tales como la construcción del poder, la emancipación, la liberación, la concientización. La idea central es liberar a los maestros y a los estudiantes de las ataduras de ideas dominantes que han enraizado normas sociales y reglamentos en los salones de clase de ciencias por muchos años. La mayoría de estas normas han sido aceptadas por mucho tiempo y pasadas de generación en generación sin haber sido nunca cuestionadas en cuanto a su relevancia y su pertinencia. Debido a que la enseñanza y el aprendizaje son acciones culturales embebidas en culturas particulares derivadas de una cultura central; el entendimiento de la cultura es una prioridad para darle sentido a las creencias, propósitos y haceres del maestro (Reyes, 1996).

## Análisis de Sistemas Sociales

Galtung (1980), considera dos perspectivas para examinar sistemas sociales: la perspectiva orientada a la consideración de los actores individuales y la perspectiva orientada a la consideración de la estructura de la sociedad. Existen dos principales fuentes de poder interactuando en el aula de clase que contribuyen a un entendimiento integral de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. La una resulta de la consideración de los actores particulares, las acciones e interacciones entre los participantes y las intenciones de negociación de significadas. La segunda fuente de poder se origina a partir de la consideración de la estructura total del macro-sistema social en el cual están embebidos los participantes.

Galtung, sugiere el análisis de indicadores sociales como referentes de la coherencia y permanencia de la sociedad deseada. Por lo tanto una revisión del enfoque de Galtung es relevante en el análisis de las acciones e interacciones en el aula de clase y la escuela, su enfoque es asumida en esta investigación.

## Una teoría de acción holística

Uno de los puntos clave de esta investigación es el hecho de que es presentada desde la perspectiva de los actores. Por lo tanto lo aprendido de esta investigación está

relacionado y refleja directamente la forma en que el maestro y el investigador piensan y actúan. Por consiguiente las acciones del maestro son estudiadas desde su propia perspectiva como autor. Generalmente muchos maestros perciben “acción” como sinónimo de comportamiento. Sin embargo en este estudio el significado de acción es diferente, el término “acción” adquiere un mayor significado del cual el comportamiento es solamente una parte. El comportamiento puede ser considerado en esta investigación como una conducta sin propósito específico o como una forma de hacer”, mientras que la “acción” en esta investigación es entendida como un concepto holístico que puede ser pensada como un grupo de interacciones dialécticas que involucran los propósitos de un individuo, las creencias de que ciertos comportamientos son viables en un contexto determinado, la construcción individual del contexto en el cual la acción está embebida y el comportamiento del individuo” (McRobbie & Tobin, 1995, p. 381). Por lo tanto, creencias, propósitos, comportamientos y contextos cuando están coordinadas de manera significativa y coherente permiten al maestro empezar a darse cuenta de la forma en la cual él o ella desarrolla sus acciones.

## **Pedagogía crítica**

Contribuye a la discusión de aspectos de gran relevancia en el análisis de tensiones sociales. Analiza desequilibrios en asuntos tales como relaciones de discurso y poder que están afectando la forma en la cual el maestra realiza un curriculum específico. Este estudio también introduce una nueva visión de curriculum y de escuela como comunidades de diálogo donde la autonomía, el poder y el control son negociados a través del diálogo, y el discurso de cada uno de los participantes es escuchado y valorado. Aspectos relacionados con autonomía, poder y control son también considerados como fuerzas sociales que limitan la acción de los maestros.

Freire (1993) nos da elementos para desarrollar un nuevo pensamiento acerca de la educación emancipatoria y del proceso liberador de la educación. La investigación del pensamiento de los maestros para encontrar la razón de ser de su práctica educativa a través de la reflexión crítica debe tener sus raíces en a comunidad. Tenemos la expectativa de que con esta exploración de sus razones cada uno de los maestros se enriquecerá de un profundo y significativa entendimiento a cerca de cómo construir-se a sí mismo como maestro. Su propia construcción, como investigador de su propia acción educativa se ve también enriquecida en ja medida en que el maestro sea capaz de construir teoría acerca de su propia proceso educativo (Reyes-Herrera, 1996). Una de las argumentaciones teóricas que favorecen esta visión es el cambio de paradigmas que involucra una visión más crítica, una reflexión y un mayor compromiso del maestro consigo misma con sus estudiantes y con su escuela. Este compromiso exige el desarrollo de una práctica educativa más humana y de mejor calidad en la escuela

## **METODOLOGÍA**

### **Naturaleza de datos**

Esta línea de investigación etnográfica será desarrollada siguiendo los criterios de calidad propuestos por Guba and Lincoln (1989). Los datos de esta investigación provendrán de una permanencia intensiva en aulas de clase de los maestras estudiados mientras desarrollan sus clases de ciencias con sus estudiantes en grados de educación básica media o superior. Fuentes importantes de datos serán natas diarias de campo,

video-grabaciones entrevistas formales reportadas en audio grabadora, memorandos y otros documentos pertinentes. También se buscará la oportunidad de hablar informalmente con los maestros cada momento en que la situación sea propicia y necesaria. Los maestros tendrán la oportunidad de ofrecer sugerencias y comentarios acerca de lo que se está aprendiendo de la investigación. De esta manera los aprendizajes posteriores se beneficiarán de lo aprendido anteriormente.

## **Criterios para juzgar el mérito de esta investigación**

### **A. Criterio de verdad**

Este criterio es paralelo al criterio positivista de rigor.

Contempla:

- 1 Credibilidad
2. Transferencia.
- 3 Dependencia.
- 4 Confirmabilidad

Desde un punto de vista constructivista, credibilidad es un criterio más apropiado que el de validez interna, hace referencia a la coherencia entre la realidad de los actores y las construcciones atribuidas a ellos. Algunas de las técnicas que incrementan la credibilidad son: compromiso y permanencia prolongada, observación persistente, discusión de pares, revisión y discusión de los mismos actores (Guba & Lincoln. 1989, p. 237) Transferencia es el criterio cualitativa que equipara la validez externa o generalización de los datos. Una abundante” descripción o descripción minuciosa y detallada es la principal técnica para establecer condiciones significativas que facilitarían a otras personas que así lo deseen, juzgar la meritoriedad y aplicar lo aprendido en este estudio a su propia situación y contexto” (p. 242).

La dependencia está relacionada con la estabilidad de los datos en un periodo de tiempo determinado. Los datos dependen del diseño metodológico.

La confirmabilidad del proceso de investigación asegura que los datos, interpretaciones y resultados del proceso están centrados en contextos y personas diferentes del evaluador.

### **B. Proceso Hermenéutico**

Un segunda criterio para juzgar el mérito de una investigación constructivista es el proceso hermenéutico. Este proceso consiste básicamente en un meta-análisis que implica una auto-evaluación. Uno de los beneficios de este proceso hermenéutico está representado por la posibilidad de una retroalimentación continua e inmediata de las interpretaciones. Por lo tanto errores que no han sido detectados antes, no tienen mayor chance de permanecer ocultas por largo tiempo.

### **C. Autenticidad**

Un tercer gran criterio para juzgar la meritoriedad de una investigación cualitativa se relaciona con la autenticidad. Hace referencia al grado en el cual lo que está sucediendo en el aula de clase de enseñanza de las ciencias es representado textualmente por el

investigador. Este criterio de autenticidad requiere que lo descrito corresponda con lo sucedido, también hace referencia al grado de coherencia entre las construcciones autónomas del investigador y su estructura de valores. La autenticidad involucra evolución, mejoramiento, madurez, elaboración de información y uso de nuevos conocimientos por parte de los participantes tal como lo describen Guba y Lincoln (1989).

## **BENEFICIOS DE ESTA LÍNEA DE INVESTIGACION**

Ya que el propósito fundamental de esta investigación es explorar los referentes que guían las acciones e interacciones de maestros de ciencias, se da especial atención al análisis de referentes sociales y mitos culturales que puedan incidir en la construcción de ambientes de aprendizaje en dominios tales como la Biología, la Química, la Física y otras ciencias de la vida y ciencias de la tierra. Cuidadas investigaciones interpretativas pueden ofrecer a los maestros, administradores y directivos que las desarrollen grandes posibilidades para reconocer la existencia de poderosas fuerzas sociales en sus comunidades, que actúan como mitos culturales limitando las acciones e interacciones del maestro. La reflexión y pensamiento crítico puede asistir a los maestros en la identificación y demitificación de mitos culturales y en la iniciación de esfuerzos de reforma educativa tendientes a beneficiar el aprendizaje de las ciencias. Si los maestros pueden identificar los mitos que sirven de referentes a sus prácticas educativas un análisis profundo de estos referentes podría llevar a los maestros a generar formas alternativas de pensamiento acerca de la enseñanza y el aprendizaje y a proponer y comprometerse con cambios correspondientes que favorecerán reformas curriculares.

### **Implicación de esta investigación**

Un aspecto importante que merece especial relevancia es el modelo de investigación cualitativa que ofrece este estudio a los maestros de ciencias que desea' realizar investigación interpretativa, etnográfica acerca de sus propios propósitos y creencias concernientes a la ciencia, el aprendizaje, la enseñanza y la investigación. Este enfoque investigativo enriquece el entendimiento de lo que está sucediendo en el aula de clase teniendo en cuenta los factores socio-culturales asociados con la enseñanza de la ciencia en las comunidades.

De acuerdo con Reyes (1996), poderosas fuerzas sociales dominantes expresadas en términos de desequilibrios de poder y enfoque de enseñanza-aprendizaje que consideran la realidad independiente de la mente en términos de verdades que deben ser aprendidas de manera inflexible y general, limitan grandemente la forma en la cual las ciencias son aprendidas en numerosas aulas de clase. Esta línea de investigación reflejará claramente cómo el mito de la visión objetiva permea intensivamente los esfuerzos de cambio por parte de muchos maestros de ciencias de la vida y ciencias de la tierra entre otras disciplinas. La interpretación de los marcos teóricos que emergen de esta investigación pueden apoyar los propósitos de cambio de los maestros y el proceso de reforma curricular en el área de ciencias. Muchos maestros encontrarán importantes argumentos para reflexionar y decidir acerca de sus propias acciones, y los directivos podrán encontrar elementos significativos que apoyen sus propósitos de satisfacer las necesidades de los maestros y el cambio curricular.

En el contexto de Colombia, país que lucha por sobrevivir muchas crisis, compartimos la expectativa de que lo que se aprenda de esta investigación proporcionará visiones útiles a los educadores de ciencias que les ayudará a reflexionar en su propia práctica



abriendo futuras direcciones para la enseñanza de las ciencias no solamente en la escuela sino en todas aquellas instituciones sociales en las cuales la escuela y el salón de ciencias están inmersas. Las implicaciones de este estudio presentan un gran potencial para el mejoramiento de áreas educativas en ciencias tales como: aprendizaje, enseñanza, cualificación del maestro, formación de maestros, política educativa, reforma educacional, desarrolla curricular y desarrollo de la investigación educativa.

## REFERENCIAS

- AGUIRRE, J., Haggerty, S., & Linder, C. (1990). Student-teachers conceptions of science, teaching and learning: a case study in preservice. *Science Education*, pp. 380-390.
- BRISCOE, C. (1991). The dynamic interactions among beliefs, role metaphors and teaching practices. A case study of teacher change. *Science Education*, 75(2), pp.185-199.
- CAICEDO, H. (1992). Viabilidad de una línea de investigación sobre enseñanza de las ciencias. *Revista Colombiana de Educación*, 24, 91-98.
- CALDERÓN, J.; Prieto, C. y Ruiz, D. (1994). *Resolución de problemas como investigación para la familiarización con la metodología científica y el aprendizaje significativo del concepto de reacción química*. Tesis de grado. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- CARRASCOSA, J. (1987). *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias de los errores conceptuales*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia, España.
- COLOMBIA, Congreso de la República (1991). *Constitución Política Nacional de Colombia*.
- COLOMBIA, Congreso de la República (1993). Ley 60 de 1993. Ministerio de Justicia. Diaria Oficial. Imprenta Nacional. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia
- CONPES. (1994). *Política Nacional de Ciencia y Tecnología. Departamento Nacional de Planeación. El Salto Social*. Documento 2739. Santafé de Bogotá.
- ERAZO, M. (1996). El capital humano y la calidad de la educación. Editorial. En *Apuntes Pedagógicos*. Universidad Pedagógica Nacional. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.
- FREIRE, P. (1993) *Pedagogy of the oppressed*. (M, Bergman Ramos, Trans.) New Revised 20 th-Anniversary. Ed. New York: The Continuum. Publishing Company. (Original Work published 1970).
- FURIO, O., Gil, D., Pessoa, A., y Salcedo L. E. (1992). "La formación inicial del profesorado de educación secundaria: papel de las didácticas especiales". Investigación en la escuela, No. 16, pp. 7-21.
- GALTUNG, J. (1980). The true worlds. A transnational perspective. New York: The Free Press.

- GIL, D. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: Una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las ciencias*, 6(2), 131-146.
- GIL, D. (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las ciencias*, 9(1) pp. 69-77.
- GIORDAN, A. (1985). *Enseñanza de las Ciencias*, Madrid: Siglo XXI.
- GLASERSFELD, E. von (1995). *Radical constructivism: A Way of knowing and learning*. London: The Falmer press.
- GRUNDY, S. (1987). *Curriculum: Productor praxis*. London: The Falmer press.
- GUBA, E. O., & Lincoln, Y.S. (1989). *Fourth generation evaluation*, Newbury Park, CA: SAGE
- HEWSON, P., & Hewson, M. (1987). Science teachers conceptions of teaching: Implications for teacher education. *International Journal of Science Education*, 9(4), pp. 425-440.
- HODSON, D. (1985). Philosophy of Science, Science and Science Education. *Studies in Science Education*, 12, pp. 25-57.
- McROBBIE, C., & Tobin, K. (1995). Restraints to reform: The congruence of teacher and student actions in a chemistry classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(4), 373-385.
- PAYA, J. (1991). *Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física y la Química. Un análisis crítico y una propuesta fundamentada*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia, España.
- POPE, M., & Scott, E. (1983). La epistemología y la práctica de los profesores. *Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias*, p. 179-191.
- PORLAN, R. (1989). *Teoría de Conocimiento. Teoría de la Enseñanza y Desarrollo Profesional: Las Concepciones Epistemológicas de los Profesores*. Tesis de Doctorado. Universidad de Sevilla, España.
- REYES, L (1993). *Constructivist suggestions to achieve science and technology education for all*. Paper presented at the international forum for project 2000+helo at UNESCO headquarters, Paris, 5-10 July.
- REYES, H. L. (1996) *An interpretive study of social forces that constrain actions and interactions in a science classroom in Colombia*. Doctoral dissertation. The Florida State University, Tallahassee, Florida.
- RODRÍGUEZ, A. (1988). La educación Colombiana: datos y cifras. *Educacion y Cultura*, 16, 5-14.
- SALCEDO, L (1991). Aprendizaje memorístico del concepto de equilibrio químico. VIII Congreso Colombiana de Química Cali Memorias, pp. 413-415.

- SALCEDO, L. y ERAZO, M. (1994). Concepciones de los profesores de química del nivel medio sobre prácticas de laboratorio. En *Memorias Congreso Colombiano de Química Santa María*.
- SALCEDO, L., JESSUP, M. y PLAMEN, N. (1996) Evaluación en la enseñanza de las ciencias. *Educación y cultura*, No. 39, pp. 17-23
- SCHIBECCHI R, (1982). Attitudes to Science, update. *Studies in Science Education*, 11. pp. 26-59.
- TOBIN, K. (1993) Constructivist perspectives on teacher learning. In K. Tobin (Ed). *The Practice of Constructivism in Science Education*. Washington, D.C. AAA. Press.

**LÍNEA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y PROCESOS DE RAZONAMIENTO****Luis Facundo Maldonado Granados\*, PhD****Abstract**

*This paper is an introduction for the fine of research on Artificial Intelligence and qualitative reasoning in the framework of the Doctor in Science Teaching Area of the Interinstitutional Program of Doctor in Education. Main features of the field are introduced by means of a brief review of trends and issues in the Artificial Intelligence in general, and particularly in education. There is a short description of academic initiatives and developments in the universities which support the program. There are statements about the theoretical approach, methods of research, technological fundamentals and pedagogical orientation. Curriculum activities and bibliographical references provide additional information on the focus of this fine of research.*

**1. Justificación****Antecedentes conceptuales**

Filosóficamente la Inteligencia Artificial fue viable en la medida en que se superó la concepción del dualismo mente-cuerpo. Algunas posiciones teóricas reflejan este largo proceso. Una primera tesis fuerte sostiene que el pensamiento es una forma de actividad física y, por tanto, puede ser llevada a cabo por sistemas también físicos tales como el cerebro o un tipo de máquina que lo emule. Otra demuestra que el proceso cognoscitivo se puede caracterizar de manera apropiada a través de alguna forma de matemática. al decir de Hume, “el conocimiento es cálculo” (Lugger and Sutbblefield, 1993: pg. 6). Babage sostuvo que cualquier cosa que se pueda representar en un sistema de símbolos puede ser procesada por un computador<sup>1</sup>. Finalmente, surge la concepción de que el cerebro es un sistema de procesamiento de información: el computador es una metáfora del mismo.

**Antecedentes metodológicos**

Esta evolución del pensamiento abrió camino a y fue acompañada por el estudio de la lógica como formalización de la actividad mental. Los aportes de Euler (1735), relacionados con el análisis de sistemas conectados, dan origen a la teoría de grafos posteriormente usada en la representación de espacios de problema. Boole (1847 y 1954) investiga las operaciones del pensamiento y se propone darles expresión por medio de un lenguaje de símbolos, establece los fundamentos de la lógica proposicional. Este enfoque -de representar por medio de símbolos los procesos de la mente-se ubica posteriormente en el corazón de la Inteligencia Artificial. Frege (1879, 1884) establece las bases del cálculo de predicados de primer orden que posteriormente se convierte en lenguaje de programación a través de Prolog. Indudablemente la lógica dota a la Inteligencia Artificial

---

\* Profesor Titular Universidad Pedagógica Nacional. Programa interinstitucional de Doctorado en Educación: Área Educación en Ciencias Naturales.

<sup>1</sup> Esta formulación es extraída en su sentido de las notas de Ada Augusta Countess Lovelace en relación con la maquina de Babage, en Shapiro (1987).

de los mecanismos y métodos indispensables para una eficiente representación simbólica de los procesos de razonamiento.

Un aporte tanto teórico como metodológico previo a los desarrollos de la Inteligencia Artificial proviene del trabajo de Shannon y Weaver (1949) en el cual se formaliza el concepto de información y se desarrolla una metodología para su medición. Esta conceptualización en términos de variedad transmitida entre sistemas abre paso a la especificación de mecanismos de procesamiento.

Von Newman diseña un modelo de procesamiento de información con entradas y salidas donde se separan las funciones de memoria de las de control y se caracteriza el procesador como mecanismo que opera por transición de estados (Fortier, 1986).

Turing (1936) desarrolla el concepto de máquina universal capaz de replicarse a sí misma. La teoría de autómatas finitos demuestra que cualquier cálculo, por complejo que sea, puede descomponerse en procesos elementales, que cualquier problema puede teóricamente solucionarse mediante una cadena de pasos discretos y que es posible diseñar una máquina capaz de resolver cualquier tipo de cálculo. Von Newman, basado en este principio, analizó las posibilidades de la reproducción biológica, en una excelente anticipación de lo que actualmente se denomina vida artificial (Singh, 1966).

## Trabajos pioneros

La convergencia de estudios sobre la inteligencia y diseño de dispositivos programables -computadores- da lugar al surgimiento de una tendencia de investigación interesada en generar programas capaces de emular actividades propias del ser humano - en principio- y, en general, de los seres vivos. En el verano de 1956, en la realización de un seminario de investigadores<sup>2</sup>, se acuña la expresión Inteligencia Artificial para denominar este movimiento. Para esta época se tenían algunas realizaciones que se constituyeron en el punto de partida de la formación de un cuerpo de conocimiento especialmente promisorio.

Warren McCulloch y Walter Pitts (1943) desarrollaron un modelo de cómputo usando como referente la neurona, capaz de aprender de la experiencia y Marvin Minsky y Dean Edmons construyeron la primera computadora neuronal en 1951. Shannon (1950) y Turing (1953) desarrollaron los primeros programas de ajedrez. Arthur Samuel (1959) desarrolló un programa de computador para el juego de damas que aprendió a jugar hasta superar a su creador. Alfen Newell y Herbert Simon (1956) desarrollaron *The Logic Theorist* capaz de probar teoremas, demostrando las enormes posibilidades del computador para el procesamiento simbólico como superación del enfoque numérico.

La trascendencia de estas realizaciones muy posiblemente se debe a que estuvieron acompañadas de logros a nivel teórico y metodológico. *La tríada de componentes: teoría, metodología y dispositivo acompañan los desarrollos de Inteligencia Artificial hasta el presente.*

---

<sup>2</sup> El seminario celebrado en Darmouth. convocado por J. McCarthy.

## 2. Caracterización del campo de estudio

Tanimoto (1987: 7) expresa que el propósito fundamental de la IA es mejorar la comprensión de los procesos de razonamiento, aprendizaje y percepción del ser humano. Los principales retos del desarrollo de este campo están constituidos por la representación de conocimiento, búsqueda en los procesos de solución de problemas, percepción e inferencia.

El conocimiento se halla disponible en la sociedad, en primera instancia, a través de las personas y -en segundo lugar- de dispositivos de almacenamiento como libros y otros. Son las personas quienes muestran su dinámica integral. Los investigadores, basados en su distribución, distinguen conocimiento de sentido común y conocimiento experto. Una tarea básica en IA es adquirirlo y representarlo en sus rasgos esenciales. En la práctica, este proceso produce conjuntos de proposiciones lógicas, reglas, procedimientos, heurísticas, estructuras, etc., resultados que dan lugar a considerar subcategorías como conocimiento esencial, de control, procedimental, heurístico y declarativo (Rich y Knight 1996). Una buena representación debe garantizar facilidad para su identificación, evaluación, actualización e incorporación en los procesos de razonamiento de sistemas artificiales.

En la medida en que se avanza en la IA, la práctica de usar metáforas como estrategia de estudio de los problemas se ha mostrado rica en consecuencias, debido tanto a la posibilidad de ir de lo más conocido a lo desconocido, como por su enfoque estructural y holístico (Maldonado y Vargas 1994). Un enfoque integral de los retos de la IA se muestra en la metáfora del agente inteligente. Russell y Norvig (1996: 33) expresan: “un agente es todo aquello que puede considerarse que percibe su ambiente mediante sensores y que responde o actúa en tal ambiente por medio de efectores. Para ser inteligente requiere mostrar características de racionalidad y autonomía.

Si revisamos el planteamiento de Tanimoto (1987) que señala que el razonamiento, el aprendizaje y la percepción son los principales retos de la IA, el concepto de agente muestra una evolución en términos de integralidad. En efecto, éste incorpora de manera holística estos tres componentes, pero, además, los proyecta a la dinámica de la acción y de la interacción con un ambiente.

Un agente es un ente situado en un entorno, en el cual desarrolla percepciones, base de su aprendizaje. Está informado en la medida en que percibe, sin que esto sea suficiente para su existencia como ente activo. En efecto, el agente ideal es racional. Esto significa que la información que obtiene alimenta procesos de razonamiento que conducen a decisiones, las cuales, a su vez son activadores de acciones. La acción, por su parte, compromete a los mecanismos efectores, a través de los cuales el agente modifica al mundo que lo rodea.

Esta descripción es suficiente para un agente activo, pero, no para un agente inteligente. La inteligencia exige la autonomía, la cual, requiere como condiciones de posibilidad la formulación de metas, un conocimiento incorporado a la estructura del agente, un continuo experiencial -secuencia de percepciones-, la identificación de alternativas de acción y la activación de un mecanismo decisor que actúa con base en un sistema de razonamiento.

La concepción de agente inteligente abre naturalmente la compuerta al estudio de los agentes en comunicación. Cuando existen varios agentes en un mismo entorno, es lógico

pensar que ellos interactúen (Cohen & Levesque 1995). Si se comunican, es posible que compartan metas o que estas entren en conflicto (Ekenberg, Roman y Danielson 1995). El conocimiento incorporado puede ser diferente o común y puede asumir diferentes formas de representación (Isasaki, 1995). La cooperación y la competencia comprometen las acciones de los agentes al igual que sucede en las sociedades naturales (Ito & Yano 1995). Surge, entonces, la necesidad de estudiar la coordinación, como una forma de liderazgo entre los agentes artificiales autónomos (Osawa 1995). Dadas estas condiciones, la IA evoluciona en la perspectiva de la cognición social.

Si bien es cierto que el foco de la IA se centra en el agente inteligente, el estudio de los entornos tiene también su lugar y es especialmente interesante en una perspectiva de aprendizaje y de aplicaciones a la educación. Cuando se habla del mundo de los agentes artificiales, se está denotando un mundo restringido, un micromundo. Como tal es una entidad diseñada y de carácter formal. Es un sistema compuesto de objetos, relaciones entre objetos, operadores y operaciones que transforman los objetos (Thompson 1987). La formalización de la estructura del micromundo -parte declarativa- determina la existencia de un conjunto de leyes. las cuales están constituidas por el cuerpo de inferencias -teoremas- demostrables a partir de esta estructura. De manera similar al agente natural, el agente artificial debe actuar en coherencia con las leyes del micromundo para poder controlarlo. Parte de este proceso es el descubrimiento mismo de las leyes -aprendizaje-. El lenguaje Logo de Papert (1980) provee a la tortuga -aunque ésta no es un agente con capacidad perceptiva- de un entorno bidimensional en el cual se puede avanzar, retroceder o girar, dispone de un lápiz con el cual puede hacer trazos, allí, el círculo y las demás figuras geométricas bidimensionales obedecen a relaciones regulares que corresponden a una forma de geometría. En un entorno tridimensional podemos pensar en una cabina de avión en la cual un robot coloca cajas de diferentes tamaños y formas obedeciendo a relaciones de ubicación y orientación. Ambientes como éstos representan relaciones del mundo real con base en las cuales las personas razonan.

### 3. Aproximaciones metodológicas de la Inteligencia Artificial

Franklin (1995) hace algunas anotaciones que nos parece interesante resaltar en aras de ubicar los estudios de IA dentro de las dimensiones de lo posible, antes de caracterizar el cómo de los estudios que caben dentro de los difusos límites de este campo. Estas son:

La inteligencia es un continuo que se muestra en los seres en grados, contrario a la forma del todo o nada.

- La inteligencia de un agente depende de la integración de componentes y se realiza, en la práctica, de manera parcial.
- La activación de la inteligencia se lleva a cabo por conjuntos de mecanismos que se ubican en un entorno.
- El fluido continuo de la acción absorbe totalmente la inteligencia: el sistema inteligente está permanentemente determinando qué hacer en seguida.
- La inteligencia opera sobre las sensaciones para generar información para su propio uso.

- La inteligencia usa información almacenada en memoria para generar acciones mediante un proceso reconstructivo, más que por simple recuerdo.
- La inteligencia se puede representar de manera limitada e incremental: las máquinas del futuro serán más inteligentes que las actuales.

Si se sigue el enfoque clásico del test de Turing (1950), el desarrollo de sistemas inteligentes requiere como tarea fundamental identificar, adquirir y representar las manifestaciones de la inteligencia natural. Según Alíen Newell, uno de los fundadores del movimiento de Inteligencia Artificial, el principal problema que trata de resolver esta disciplina es el de la representación del conocimiento. En el denominado tercer debate (Franklin 1995) aparece una segunda posición derivada de los desarrollos de las tendencias conexionistas (Brooks 1991) que sostiene que los agentes pueden actuar sin representaciones. Los puntos críticos que no se resuelven en esta posición son: ¿necesita el programador representar estructuras para obtener inteligencia?, ¿cuándo un agente percibe forma representaciones? Las respuestas históricamente han sido positivas. De todas maneras es un debate que requiere de mayor evolución para llegar a un desenlace

La primera etapa de la construcción de agentes inteligentes tiene que ver con la adquisición y representación de las dimensiones de la inteligencia natural y la segunda con la creación de nuevas estructuras razonando a partir de mecanismos creados para imaginar dimensiones nuevas, pensamiento subjuntivo, en expresión de Hofstadter (1979). Dicho de otra manera, la creación de inteligencia artificial requiere una dinámica de modelamiento y otra de predicción a partir del modelo creado. Siguiendo el pensamiento de Hofstadter, es posible crear un modelo de juego de un equipo de fútbol a partir de la observación sistemática de un conjunto suficiente de partidos jugados por el equipo de interés. Una vez creado, se puede entrar a analizar las posibilidades del modelo mismo, desprendiéndose de las particularidades del sistema que sirvió de base para el modelamiento. El resultado de este análisis muestra los alcances propios del modelo artificial

Gran parte de los estudios de IA se centra en procesos de solución de problemas como condición en la cual el conocimiento muestra todo su potencial. En el desarrollo de sistemas expertos, el ingeniero debe identificar el conocimiento utilizado y las estrategias que se siguen en la solución de problemas que caen dentro de la órbita de su especialización. Este proceso de adquisición requiere de métodos apropiados.

Una metodología caracterizada en el campo de la IA en funciones de adquisición de conocimiento es el análisis de protocolos de reportes verbales (Erickson y Simon 1993). Surge del trabajo de observación sistemática de sujetos jugando ajedrez o solucionando problemas de aritmética críptica (Newell y Simon 1972). Se orienta a identificar las secuencias de estados internos de la mente en el proceso cognitivo. Le da pie para afirmar que el lenguaje refleja de manera válida el pensamiento. La observación es intensiva sobre los procesos de cada sujeto y cifra su valor en la consistencia teórica del modelo de procesamiento de información que le sirve de base para la predicción como mecanismo fundamental de validación.

El modelo de procesamiento considera un ambiente o entorno de la tarea que entra en contacto con el sujeto a través de sensores, un procesador, una memoria y mecanismos efectores. Los objetos del procesamiento de información son símbolos y con ellos se forman estructuras. La solución a un problema es una sucesión de transiciones de estado que, en su conjunto, determinan una transformación con un estado solución como fin. Una



transición resulta de aplicar un operador a un operando. Un método es una lista de transiciones posibles. La percepción que el sujeto tiene de los estados posibles para la solución del problema constituye el espacio del problema y evoluciona en la medida que el sujeto intenta resolver el problema. Finalmente, la representación de este proceso simbólico constituye un programa para el procesador. Esta relación entre pensamiento y lenguaje simbólico es el vínculo directo entre los procesos de pensamiento natural y la programación artificial (Maldonado, 1992).

Un ejemplo ilustrativo de la actividad de adquisición y representación en IA y que utiliza el método de análisis de protocolos es el traído por Glancey (1987) y que se expresa en los siguientes pasos:

- A. Discusión informal de un caso previamente diagnosticado por Mycin.
- B. El experto resuelve un caso mientras el experimentador pregunta sobre el razonamiento que sigue.
- C. Se le pide al experto que describa un caso típico para cada una de los diagnósticos principales.
- D. Se le pide al experto que presente un caso al experimentador Inverso de B.
- E. Los mismos casos discutidos en B y D se presentan a diferentes expertos.
- F. El modelo de estrategia desarrollado se presenta al primer experto para su evaluación.
- G. Los mismos casos son presentados a los mejores estudiantes del experto.
- H. Se discute cada regla con el experto y se agrupan de acuerdo con las hipótesis que sustentan.

En la aproximación metodológica de la IA algunos conceptos son fundamentales en el proceso de adquisición de conocimiento (Maldonado, 1994): el ambiente de la tarea, el espacio del problema, los métodos de solución, la memoria de trabajo y la memoria de largo plazo. Estos conceptos denotan fenómenos que interactúan de manera dinámica en el proceso de razonamiento.

El entorno presenta al sujeto las variables del problema a través de los mecanismos aferentes y se denomina ambiente de la tarea. La solución de un problema se lleva a cabo por una sucesión de estados. Esta sucesión de estados se denomina espacio del problema y asume dos acepciones: el espacio lógico del problema, y el espacio psicológico. El primero está conformado por los posibles estados que pueden entrar en el proceso de solución. El segundo es el conjunto de estados en el campo perceptivo del sujeto en cada momento de la solución y que evoluciona a medida que se desarrolla el proceso. El paso de un estado a otro se hace mediante la aplicación de operadores a objetos. Un estado se transforma en un sucesor; esta sucesión de operaciones constituye la estrategia o método de solución del problema. Las estrategias usadas dependen de información procedimental almacenada en memoria de largo plazo, la cual se enriquece con el **feedback** del proceso. En cada momento de éste, la información tanto de los objetos, como de los operadores y procedimientos están presentes al solucionador en lo que se denomina memoria de corto plazo o memoria de trabajo.

La información recogida a través del proceso de adquisición de conocimiento tiene su equivalente en el proceso de simulación, razón por la cual se han desarrollado técnicas paralelas a nivel de programación que se preocupan por los temas del entorno, (ej. los micromundos), aprendizaje y percepción (ej. redes neuronales, reconocimiento de patrones, procesamiento de lenguaje natural, interfaz hombre-máquina) memoria (estructuras de datos, bases de conocimiento, redes semánticas, grafos conceptuales), y la representación del espacio y el concepto de espacio del problema se convierte en pieza fundamental del proceso de representación (al decir de Winston, 1992) la representación adecuada del espacio del problema es la parte fundamental en su solución y sobre éste o se diseñan los procesos de búsqueda).

#### 4. Inteligencia Artificial y Educación

El hecho de que la IA tenga como objeto primordial de estudio el conocimiento y su forma de representación hace que desde sus inicios surjan las preguntas relacionadas con el aprendizaje y la educación. Newell y Simón (1972) analizan en profundidad las características de los expertos solucionando problemas frente a los aprendices. Pero, la proyección más destacada de la Inteligencia Artificial a la educación se da con los Tutores Inteligentes (Barr y Feigenbaum, 1981). Esta tendencia de pensamiento establece una dinámica de generación de modelos cognitivos con validación a través de mecanismos computacionales (Maldonado, 1992).

Una revisión de la amplia gama de tópicos que han estado dentro de la mira de los investigadores sobre tutores inteligentes es presentada por Wenger (1987). En los tutores inteligentes hay temas medulares: el dominio de conocimiento, la pericia pedagógica, el modelamiento del estudiante y su proceso de aprendizaje, y la dinámica comunicacional.

Los tutores inteligentes (TI) se muestran como productos tecnológicos, pero, su valor no está tanto en la comercialización de los programas que ha sido muy reducida, sino en los aportes a la metodología de estudio de los procesos de aprendizaje y a la formación de un enfoque cognitivo y computacional de la pedagogía. Estas investigaciones, que no han sido independientes de otras áreas de aplicación de la IA, han contribuido al desarrollo de **software** más amigable en la industria misma.

La temática de los TI ha motivado estudios más independientes de temas específicos a través de procedimientos de modelamiento. Tal es el caso de la metacognición (Nelson T. O., & Narens, L. 1990), el error de los estudiantes en el proceso de aprendizaje (Wenger 1987), procesos de **feedback** y sus implicaciones en el diseño de materiales educativos (Fisher y Handl 1988), el uso de la analogía y la metáfora en el aprendizaje (Streitz, 1988), los procesos de evaluación y tutoría (Johnson and Soloway, 1987), las creencias y prejuicios y su influencia en la toma de decisiones de los estudiantes (Sleeman, 1987).

En un contexto más reciente, es importante destacar las repercusiones de trabajos más amplios dentro de la ciencia cognitiva. Los trabajos de Howard Gardner, al tiempo que caracterizan toda una corriente de pensamiento, muestran la perspectiva de las múltiples dimensiones de la inteligencia humana. Recientemente se inicia el estudio de diferentes formas de razonamiento como es el caso de la imaginería mental y la imaginería computacional, el razonamiento analógico, la simulación de paradigmas científicos y su aplicación al aprendizaje de las ciencias, el razonamiento espacial cualitativo y cuantitativo y el razonamiento temporal (Glasgow et al. 1996). Finalmente cabe destacar la relación entre estructuras de **software** y la aplicación de técnicas de representación de

conocimiento, tomando como punto de referencia el sistema sensorial del usuario y SU forma de procesar información. Tal es el caso de los hipertextos, los hipermedia, la realidad virtual y la telemática. Sobre el tema se vienen publicando muchos trabajos, como quiera que se relaciona con avances tecnológicos muy recientes. La asociación entre modelos conexionistas de representación y los hipertextos e hipermedia se ha destacado en estudios como los de Jonassen, al tiempo que se abre una relación con el constructivismo en educación. En Maldonado (1996) se utilizan los mapas conceptuales como mecanismos de evaluación de relaciones conceptuales. El impacto sobre el sistema perceptivo y consecuentemente sobre el conjunto del proceso de información -memoria, razonamiento, **feedback** y formación conceptual- de la hipermedialidad es un tema de muy reciente investigación. **Landow** (1992) presenta una perspectiva epistemológica de las transformaciones predecibles a partir de la hipertextualidad. La relación en inteligencia artificial con los trabajos de Imaginería mental e imaginería computacional establecen una relación muy estrecha entre lo hipermedial, lo virtual y los procesos de percepción, representación y razonamiento.

La telemática, por otra parte, se proyecta con potencialidades educativas relacionadas con el ideal de convertir la sociedad en su totalidad en una aldea del aprendizaje. Por su reciente incursión en la sociedad sus perspectivas son más predichas que evaluadas (Steinberg, 1992), sin embargo, algunos problemas son de consideración de la IA. La riqueza de información sobrepasa la capacidad de procesamiento del usuario de manera abrumadora, lo cual hace que se presenten problemas relacionados con el acceso, jerarquización, actualización y valoración. La superación de la limitante de la distancia, a lo cual responde la telemática, abre temas de investigación como el trabajo colaborativo y los procesos de diálogo en la educación a distancia (Verdejo, 1994)

Finalmente, vale destacar, por las proyecciones que se tienen en la línea de investigación objeto de este trabajo, la relación entre Inteligencia Artificial y lúdica (Maldonado, 1996a). Los trabajos clásicos iniciales de la IA utilizaron juegos como el ajedrez y las damas como condiciones propicias para el estudio de solución de problemas. En razonamiento espacial juegos como el Pentominó y el Tetris (Kirsh, & Maglio, 1994) constituyen condiciones de valor especial para entender la dinámica del razonamiento cualitativo.

## 5. Importancia de la inteligencia artificial en la enseñanza de las ciencias

Las ciencias constituyen una fuente inagotable de problemas de investigación para la mente humana. La solución de estos problemas requiere formas diversas y elaboradas de razonamiento que constituyen un reto para quien se dedica a estudiar su aprendizaje. Los métodos de trabajo de la Inteligencia Artificial pueden dar aportes valiosos tanto en la formalización de modelos pedagógicos que permitan comprender los procesos de solución de problemas, como en la generación de ambientes computacionales que faciliten el aprendizaje. Como ejemplos ilustrativos de esta aproximación se puede considerar la simulación de formas de razonamiento tales como espacial, temporal, analógico y basado en contextos, el aprendizaje a partir de casos, el diseño de sistemas basados en metáforas, el modelaje de estudiantes y el desarrollo de tutores *inteligentes*, de ambientes virtuales de investigación y de micromundos de aprendizaje, entre otros

## 6. Antecedentes de la línea de doctorado

La línea de investigación que se propone se ubica en el contexto de los estudios de Inteligencia Artificial orientados a la representación de diferentes formas de conocimiento y a la comprensión de los procesos de aprendizaje y formación de la persona. En las universidades participantes se vienen adelantando trabajos que comparten enfoques básicos fundamentales que dan base para hablar de la línea de Inteligencia Artificial.

A continuación se caracterizan los trabajos desarrollados en la Universidad Industrial de Santander y en la Universidad proponente de la línea.

### **La investigación desarrollada por el grupo de la Universidad Industrial de Santander**

Se ha centrado en la definición de las características educativas y tecnológicas que deben reunir los materiales educativos informatizados (MEI) para que promuevan y acompañen procesos de aprendizaje. Se ha reflexionado sobre modelos pedagógicos cuyos lineamientos puedan proyectarse a través de MEI de tipo inteligente. En esta lógica se estudia el proceso de representación de conocimiento y lineamientos provenientes de teorías del aprendizaje. Se han hecho desarrollos en las áreas de lenguaje, matemáticas y sociales para el Sistema Formal de la Enseñanza Básica y en las áreas de estadística y física en educación superior. Este trabajo está siendo enriquecido con los aportes de los docentes de la Especialización en Pedagogía Informática, la cual se orienta al uso óptimo de la informática para promover y acompañar el aprendizaje.

La base cognitiva de estos trabajos la constituyen estudios sobre representación de conocimiento, solución de problemas y construcción de conceptos en las áreas en las cuales se trabaja.

Los desarrollos en programación declarativa, programación orientada a objetos, multimedia y técnicas de representación del conocimiento constituyen su base tecnológica.

La Universidad Industrial de Santander lideró la constitución de la Red de Modelamiento Sistémico que constituye uno de los apoyos potenciales del doctorado, por el nivel académico de los miembros de esta red.

### **El Proyecto TECNICE de la Universidad Pedagógica Nacional**

El antecedente inmediato de la *Línea de Inteligencia Artificial y Comprensión de Procesos de Razonamiento en Ciencias* es el proyecto TECNICE -Tecnologías de la Información y la Comunicación en Educación- (Maldonado, 1991a). Este proyecto, a su vez, surgió como resultante de un conjunto de investigaciones y programas académicos desarrollados durante las décadas de los setenta y ochenta y que confluyen en una tendencia de pensamiento que define la Pedagogía como ingeniería social con tres grandes tipos de actividades: caracterización, proyección e intervención del aprendizaje y la cultura (Maldonado 1986; Maldonado, 1996).

## **Caracterización del aprendizaje y la cultura**

La psicología en su evolución ha contribuido substancialmente a la comprensión del proceso de aprendizaje como dimensión eminentemente individual. La antropología y la etnoinvestigación, por otra parte, dilucidan la cultura como una formación social, donde el aprendizaje es característica compartida por miembros de las comunidades y que se manifiesta en hábitos, formas de interacción social, actitudes y paradigmas cognitivos condicionantes de las diferentes formas de juicio y decisión

El interés investigativo se orientó hacia la dinámica de interacción, los entornos y las características culturales de los actores del proceso educativo. En Betancourt y otros (1974), con base en la metodología de historias de vida, se estudian dimensiones culturales de maestros y estudiantes colombianos y se elabora el concepto de cultura del salón de clase' como una formación institucional cerrada a la información y, por tanto, con puntos de equilibrio muy estables. Estos trabajos están en relación con el movimiento latinoamericano que más explícitamente resalta la dimensión cultural de la educación, y que, a nuestra manera de entender, está representada por el pensamiento de Paulo Freire (1970). Esta tendencia de corte etnográfico se proyecta luego a la caracterización de los procesos de interacción en ambientes enriquecidos con tecnologías de la información (Maldonado, 1991 b), siguiendo una corriente de pensamiento representada por los trabajos de Sherry Turkle (1984)

La caracterización cultural se desarrolla desde la investigación cuantitativa con métodos estadísticos aplicados a la evaluación de actitudes de los actores del escenario educativo. Los valores son parámetros condicionantes del procesamiento de información y del aprendizaje, en especial, en la medida en que son compartidos por educandos y educadores. En la perspectiva de Kerlinger (1975), quien estudia las actitudes de los educadores frente al cambio, se aplicó la metodología Q con el objeto de analizar jerarquías de valores de estudiantes y profesores (Gómez et al., 1985), encontrando tendencias contrarias en los dos grupos de sujetos.

## **Las estrategias de intervención**

Los programas de Magíster en educación de la Universidad Pedagógica Nacional ofrecieron condiciones propicias para el desarrollo de trabajos en la perspectiva de evaluar los procesos de aprendizaje en función de los entornos y sus interacciones mediadas por materiales educativos como mecanismos de transmisión de información. En Maldonado y Sequeda (1974) se analiza cómo la estructura de un ambiente de aprendizaje incide en el desarrollo de hábitos, en términos tanto de la duración como en la eficiencia de las sesiones de estudio libre, de niños de cuarto grado de primaria. Luego, la comparación de métodos de enseñanza con filosofía de dominio mostró que el uso de materiales textuales genera diferencias significativas en el aprendizaje de la psicología en los primeros cursos de licenciatura y cómo los procesos de evaluación son factores críticos en el desarrollo de la capacidad de aprender (Maldonado et al. 1977). Estas investigaciones generaron interés por el aprendizaje dirigido por el mismo estudiante, primero en la perspectiva del autocontrol (Kanfer y Philips 1970) y luego en el marco de la metacognición (Derry y Murphy, 1986).

El estudio de la incidencia de ordenadores de navegación, como son los objetivos, los índices y los mapas instruccionales, sobre la toma de decisiones en la navegación a través de un hipertexto, y la autoevaluación del proceso de aprendizaje (Maldonado, 1986) sirve de base para la introducción del computador como ambiente de

experimentación y de técnicas de inteligencia artificial para la representación de conocimiento. Este proyecto abrió el camino al estudio del proceso de autoevaluación en la solución de problemas y en la comprensión mensajes hipertextuales usando como dominio de aprendizaje el diseño industrial (Maldonado y Andrade, 1996) y, al análisis de la autoevaluación como activador de estrategias de solución de problemas y el uso de simuladores como dispositivos para el entrenamiento de profesores que desarrollen habilidades para enseñar por procesos.

Los trabajos de los profesores tuvieron eco en el desarrollo de investigaciones para llenar el requisito de tesis de Magíster. En ellas se muestran tendencias de pensamiento que han perdurado en el proyecto TECNICE. Se estudió el proceso de solución de problemas en niños preescolares (Monroy y Terrero), iniciando un interés por el estudio del pensamiento dentro del marco de la teoría del procesamiento de la información. Un conjunto de trabajos se orientó a la evaluación del valor de los materiales educativos en términos de ganancia de información (Larrotta y Morales (1984), Vega (1984)), apoyándose en la teoría matemática de la información (Ashby 1963). Se evaluó el nivel de comprensibilidad de textos escolares (Mogollón, Muñoz y Oviedo (1984)) y metodologías para mejorar la comprensión de mensajes textuales (Hernández, 1984). Se desarrollaron estrategias para identificar la efectividad de sistemas de información institucional (Villela, 1984) y se estudió los procesos de toma de decisiones en la elección de profesión (Velazco, 1984).

## La proyección

TECNICE concreta un ideal de proyección cultural y el inicio de una serie de actividades de prospectiva pedagógica. Con la concepción de que a través de los proyectos se pueden crear realidades futuras como resultado de cadenas de transformaciones de la realidad presente, se diseñó el proyecto y, luego, se pasó a su puesta en operación y gestión. En el marco de TECNICE, los trabajos de investigación deben confluir en proyectos tecnológicos como solución a problemas identificados en alguna realidad concreta.

Una primera meta fue la de construir un entorno propicio a la investigación y al desarrollo de proyectos en el campo de las tecnologías de la información y la comunicación para el sector educativo, conscientes del papel determinante de los ambientes en el desarrollo del aprendizaje y de la actividad productiva de los grupos. En la estrategia para conformar un grupo de investigación se ideó un esquema de juego para los jugadores reales, no para los ideales. La preocupación central estuvo en la formulación de unas metas y problemas que crearán tensión teleológica y en la creación de un escenario tecnológico donde investigadores y académicos pudieran desarrollar juegos de imaginación para responder a esta dinámica. En principio, cualquier idea, por especulativa que aparezca, es bienvenida, con tal de que dé origen a una representación en un programa de computador, en un objeto visible o en procedimientos que generen procesos reales.

Las líneas de trabajo de TECNICE han sido: investigación y desarrollo de **software**, formación, capacitación, telemática, multimedia y gestión.

En investigación y desarrollo de **software** se han adelantado proyectos sobre metacognición, razonamiento espacial y enseñanza de las ciencias sociales. Maldonado y Andrade (1996) analizan el impacto de ambientes computacionales que propician juicios

acerca de la facilidad, la adquisición y la sensación de aprendizaje - metamemoria - sobre el aprendizaje del razonamiento espacial; por otra parte, estudia la relación entre la activación de estrategias previamente a la solución de problemas presentados por el computador y el desarrollo de habilidades de solución de problemas; y se interesa por ver el efecto del entrenamiento de profesores basado en el estudio de simuladores de estrategias de solución de problemas sobre la orientación de su actividad docente.

Vargas et al. (1996) desarrollan un trabajo sistemático de diseño, producción y validación de hipertextos en ciencias sociales con temas como los derechos humanos, estado y sociedad civil y, pensamiento político democrático. El interés por la representación hipermedial del dominio del conocimiento se combina con el interés por el trabajo interdisciplinario y la educación de líderes comunitarios.

En los programas de formación se priorizan dos tendencias; la proyectual, vinculada al diseño y producción de **software** para educación, a través del programa de especialización y la investigativa, apoyada en el desarrollo de estudios orientados a vincular las tecnologías de la información a la comprensión de procesos culturales y de aprendizaje, a través del programa de Magíster. En esta dinámica se han producido paquetes de **software** para las diferentes áreas de la enseñanza en educación básica y vocacional y se han desarrollado trabajos de investigación en temas como la dinámica de sistemas y la enseñanza, el modelamiento y el razonamiento espacial, razonamiento sobre mecanismos, generadores de problemas y desarrollo del pensamiento divergente, lectura y escritura en los hipermedia, metacognición y educación especial, procesos cognitivos en la navegación hipertextual, hipersonido y razonamiento espacial en personas con deficiencia visual, razonamiento analógico y aprendizaje de la matemática, razonamiento no monótono en toma de decisiones de orientación profesional, impacto cognitivo de metodologías de formación a medida en temas de informática, impacto cognitivo de la construcción de mapas conceptuales apoyados por computador.

La experiencia vivida durante esta década en TECNICE da pie para sustentar la hipótesis de que los ambientes de aprendizaje en si mismos operan como transformadores del razonamiento lógico en discernimiento moral, de la especulación en objetivación y de la objetivación en imaginación.

En el seno de TECNICE se ha desarrollado un diálogo efectivo entre tendencias conceptuales y teóricas y entre metodologías de investigación. Se ha buscado intencionalmente la complementariedad antes que la oposición, dando como resultado riqueza de visiones y trabajos interdisciplinarios que convergen en objetivos y productos. Las aproximaciones más favorecidas han sido: la etnometodología la metodología experimental, análisis de protocolos de informes verbales y el modelamiento sistémico

El interés del grupo TECNICE ha sido el de modelar el mundo de la educación mediante un juego dinámico entre los enfoques cualitativos y cuantitativos. El estudio de lo metacognitivo realza la autonomía como dimensión básica del trabajo creativo. En la práctica se integran intereses lógicos, estéticos, éticos y lúdicos en la generación de soluciones informáticas para la educación.

## 7. La línea dentro del área de enseñanza de las ciencias

La línea es parte integral del Área del Programa de Doctorado interinstitucional en Educación denominada de Enseñanza de las Ciencias, la cual temáticamente gira en

torno al desarrollo cognitivo manifestado en la formación de conceptos y preconceptos y en los procesos de razonamiento complejo y solución de problemas. El diálogo permanente entre las líneas que componen el área potencia un desarrollo científico que se vislumbra promisorio. Las relaciones de complementariedad se perciben, ubicados en la Línea de Inteligencia Artificial y Comprensión de Procesos de Razonamiento, desde las perspectivas: temática, paradigmática, metodológica y técnica. Desde la perspectiva temática, la línea 3 de Solución de Problemas, dirigida por la Doctora Margie Jessup, y la línea 5 de Evaluación de los Procesos de Razonamiento Complejo, dirigida por el Dr. Fidel Cárdenas, ambas enfocadas en una perspectiva cognitiva, contribuyen substancialmente a delimitar el objeto de investigación.

Desde la perspectiva paradigmática la Línea 2 de Elaboración de Conceptos científicos dirigida por el Dr. Fabio Vélez permite ver las formas de razonamiento como procesos que adquieren características resultantes de la evolución de las ciencias. El concepto de paradigma, como parámetro básico de la percepción y el razonamiento, se estudia en su dimensión epistemológica e histórica.

El aprendizaje de las ciencias se ve desde la dinámica de las relaciones del enseñante y el aprendiz en una perspectiva cultural en la cual los preconceptos, los conceptos, el sentido común y las expresiones en formato de las ciencias entran en interacción y condicionan la forma de razonamiento. Múltiples agentes inteligentes entran en interacción en la dinámica de la cultura. Este tipo de relaciones es aporte muy relevante de la línea 1 dirigida por los Drs. Lilia Reyes y Luis Enrique Salcedo y la línea 6 dirigida por el Dr. Alfonso Claret.

Desde la perspectiva metodológica, la línea 1 profundiza en enfoque etnográfico, base de la comprensión de la dinámica cultural, la línea 2 en el análisis histórico y epistemológico, la línea 5 sobre diseños experimentales estadísticos.

La línea de inteligencia artificial se enfoca temáticamente sobre procesos de razonamiento de orden cualitativo, se complementa conceptual y metodológicamente de las aproximaciones de las otras líneas y da aportes sobre métodos de adquisición de conocimientos, como es el caso de la metodología del análisis de protocolos de informes verbales y métodos de representación de conocimiento y simulación. En una perspectiva epistemológica presenta aportes desde la teoría de sistemas y desde las formas de representación del conocimiento. Sus aportes técnicos contribuyen tanto a la sistematización de los ambientes experimentales como al procesamiento de información de las investigaciones.

## **8. Estructura de la línea de investigación**

Se concibe el doctorado como un nivel de formación altamente especializado, muy centrado en la investigación personal, curricularmente flexible y con fuertes exigencias en cuanto consistencia conceptual y metodológica. El proceso se nutre de un diálogo intensivo entre pares y dentro de una comunidad científica. Por esta razón, se prevén procesos de concertación de temáticas y experiencias curriculares.

La dimensión propositiva inicial de esta línea contempla, en razón de los antecedentes que la motivan, el estudio del aprendizaje autodirigido y los procesos metacognitivos, el razonamiento cualitativo con manifestaciones en  $e>$  razonamiento espacial, la imaginería mental, el uso de analogías en el aprendizaje a partir de casos, la metáfora como vínculo



entre experiencia previa y el aprendizaje y la toma de decisiones con información incompleta (razonamiento no-monótono).

Su desarrollo considera tres componentes básicos: la representación del conocimiento mediante modelos, el uso de metodologías consistentes de validación de la teoría y el desarrollo de dispositivos computacionales como mecanismo de simulación.

A nivel teórico interesa el estudio, simulación y comprensión de procesos de razonamiento cualitativo.

A nivel metodológico se basa en enfoques que permiten el estudio de procesos cognitivos y el diseño y desarrollo de sistemas basados en conocimiento con proyecciones al campo de la educación.

A nivel técnico los acercamientos se basan en diferentes formas de lógica y razonamiento cualitativo y cuantitativo y paradigmas de programación, como es el caso de la programación declarativa y orientada a objetos.

La línea comparte la estructura general del área en la cual se consideran tres dimensiones generales: humanística, metodológica y pedagógica

En la **dimensión humanística**, la línea recibe aportes de las otras líneas y, a su vez, aporta una reflexión epistemológica y educativa sobre los siguientes aspectos:

- Ciencia cognitiva e inteligencia artificial: Son muchos los trabajos que se pueden citar a este respecto. Las obras de Franklin (1995) y Hostadter (1979) presentan un panorama global y dinámico de los desarrollos de la inteligencia con proyecciones a lo epistemológico e interdisciplinar.
- Teoría general de sistemas, cibernética y sociedad: Trabajos de Von Bertalanfy y Luhman pueden ser base para organizar seminarios y ensayos.

En la **dimensión estratégico-metodológica de la investigación** comparte actividades con las otras líneas del área y enfatiza en el estudio de Metodologías de investigación en Inteligencia Artificial y Educación tales como:

- Análisis de protocolos: El trabajo más organizado y que al mismo tiempo ayuda a profundizar sobre el paradigma del procesamiento de información es Erikson, K. A. and Simon, H. A. (1993). A partir de este trabajo se puede analizar muchas investigaciones recientes. La revista Cognitive Science y Cognitive Instruction provee trabajos de excelente calidad en esta dirección.
- Tendencias etnográficas: se partirá de las orientaciones de las líneas de Reyes y Salcedo.
- Tendencias estadísticas: Cohen (1997) presenta una visión actualizada de los problemas metodológicos propios de la Inteligencia Artificial. A partir de esta obra se pueden desarrollar ampliaciones, según las exigencias de los proyectos de investigación.

En la **dimensión pedagógica**, a su vez, comparte con las otras líneas y aporta un estudio específico sobre temas como los siguientes:

- Ciencia cognitiva y pedagogía: Gardner (1993) se orienta a dimensiones específicas de la inteligencia que tocan con lo espacial y lo cualitativo.
- Inteligencia artificial en educación: Wenger (1987) es una revisión con una estructura que facilita la incorporación de investigaciones más recientes.
- Hipertexto, hipermedia, Realidad virtual y aprendizaje: **Landow** (1992) presenta un esquema de análisis con capacidad de incorporar nuevos desarrollos y perspectivas.
- Telemática y aprendizaje colaborativo. Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems ICMAS-95 y Trabajos de Verdejo pueden servir de base para la discusión de un tema que está en proceso de sistematización.

## **Dimensiones específicas de la línea**

Las investigaciones de los doctorandos se fundamentan en campos especializados con proyecciones teóricas y metodológicas. A continuación se presentan temas centrales de estudio y desarrollo acompañados de una referencia bibliográfica como base para la orientación temática y la definición de las actividades curriculares que se llevarán a cabo.

### **a. Lógica y representación del conocimiento**

Teoría de los agentes inteligentes. La obra de Russell, S. y Norvig, P. (1996) presenta una panorámica bastante completa de la IA en la perspectiva de los agentes inteligentes, al tiempo conceptual y metodológica en cuanto a representación del conocimiento. A partir de sus planteamientos se pueden organizar actividades curriculares pertinentes.

- Programación lógica. La obra Sterling y Shapiro (1986) presenta una panorámica rigurosa y amplia que contribuye a la formación avanzada del programador.
- Modelos conexionistas de representación. La obra general de Rich, E. y Knight, K. (1996) y el trabajo más especializado de Sowa, J. (1984) pueden tomarse como punto de partida.
- Razonamiento espacial. El trabajo de Hernández (1994) complementado con Glasgow, Janice, Narayanan, N, H. and Chandraskaran, B. (1996) permiten una visión del razonamiento espacial vinculado al cuerpo de investigación sobre imaginaria mental.
- Razonamiento basado en casos: Leake. David B. (1996) presenta una excelente compilación de trabajos que pueden fundamentar los inicios de seminarios y el desarrollo de investigaciones en esta dirección
- Razonamiento temporal: Bolc, Leonard, Szalas. Andrzej (1995) presentan una compilación de modelos formalizados y de aproximaciones teóricas con una amplia panorámica sobre el tema.
- Algoritmos genéticos: Mitchel, Melanie (1996) constituye una buena sistematización de esta corriente específica de pensamiento

## b. Paradigmas de programación

Cada uno de los tópicos considerados como base tienen una plataforma de programación como representativa de la tendencia. El doctorando debe demostrar capacidad de desarrollo eficiente de sistemas basados en al menos una de estas plataformas.

- Programación orientada a objetos: Java o Toolbook.
- Programación visual: Acroscience.
- Programación declarativa: Prolog.
- Tecnología multimedial y realidad virtual: MicroMind Director.
- Tendencias en desarrollo de **software** en educación.

## c. Dominio de Conocimiento

El estudio de una disciplina científica y, dentro de ella, de un conjunto específico de problemas, da origen al objeto de conocimiento al cual se aplica los procedimientos y técnicas de la inteligencia artificial. En el enfoque de doctorado que se presenta inicialmente interesan dominios de la biología, la física y la química, y el diseño, por la existencia de doctores en estas áreas participando en el área de doctorado. Sin embargo, esto no significa cierre a dominios del saber en los cuales se pueda contar con expertos y propuestas de investigación bien definidas

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antonieau, G (1997). *Non monotonic reasoning*. Cambridge: AAI Press/ The MIT Press, 65-72.
- Ashby, R. (1963). *Introducción a la Cibernética*. Editorial Nueva Visión.
- Barr A. & Feigenbaum, E. A (1981). *The handbook of Artificial Intelligence*. Los Altos CA: William Kaufmann, Inc.
- Bolc, Leonard, Szalas, Andrzej (1995). *Time and Logic: a computational approach*. London : UCL Press Limited.
- Boole, G. (1847). *The mathematical Analysis of Logic*. Cambridge: MacMillan, Barclay & MacMillan.
- Boole, G. (1954). *An investigation of the laws of thought*. London: Walton & Maberly.
- Brooks, R. (1991). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47: 139-159.
- Cohen, P. and Levesque H. (1995). *Communicative actions for artificial agents*. Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems ICMAS-95. Cambridge: AAI Press/ The MIT Press, 65-72

- Derry, S.J. and Murphy, D. A (1986). Designing systems that train learning ability: from theory to practice. *Review of Educational Research*. 56(1), 1-39.
- Ekenber, L , Roman M. and Danielson. M. (1995). *A tool for coordinating autonomous agents with conflicting goals*. Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems ICMAS-95. Cambridge AAI Press/ The MIT Press, 65-72.
- Erikson, K. A. and Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis: verbal reports as data*. Cambridge. The MIT Press. Second Edition.
- Euler. L. (1735). *The seven bridges of Konigsberg*. In Newman, J.R. (1956). *The world of mathematics*. New York: Simon and Shuster.
- Feigenbaum, Edward A. & Feldman, Julian (1995) Editors. *Computers & Thought*. Cambridge, Massachusetts. AAI Press/ The MIT Press.
- Fisher, P.M. and Handle, H. (1988). *Improving of the acquisition of knowledge by informing feedback*. En Handl, H. and Lesgold, A. *Learning issues for intelligent tutoring systems*. N.Y. Springer-Verlag.
- Fortier, Paul J. (1986). *Designing of distributed operating system: concepts and technology*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Franklin, Stan (1995). *Artificial Minds*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Frege, G. (1879). *Begriffsschrift. eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*. Halle: L. Niebert.
- Fraga. G. (1884). *Die Grundlagen der Arithmetik*. Breslau: W. Koeber.
- Freire, Paulo (1969). *La educación como práctica de la libertad*. Traducción del Portugués. Educação como prática da liberdade. Montevideo, Uruguay: Editorial Tierra Nueva.
- Freire, Paulo (1970). *La pedagogía del oprimido*. Traducción del Portugués. Montevideo, Uruguay: Editorial Tierra Nueva
- Gardner, H. (1995). *Estructura de la mente: La faena de las inteligencias múltiples*. México: Fondo de Cultura Económica (segunda edición). Traducción del Inglés. Frames of Mind: The theory of multiple intelligences. New York: Basic Books, 1983.
- Gardner, Howard (1993). *Arte. Mente y Cerebro*. Buenos Aires: Editorial Paidós), reimpresión.
- Glancey, W. J. (1987). Methodology for building an intelligent tutoring system. In Kearsley, G. P. *Artificial intelligence & instruction*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- GLASGOW, J. & PAPADIAS, Dimitri (1992). Computational Imagery. *Cognitive Science*, 16, 355-394.

- Glasgow, Janice, Narayanan, N, H. and Chandraskaran, B. (1996) Editor. *Diagrammatic Reasoning: cognitive and computational perspectives*. Cambridge, Massachusetts: AAI Press/ The MIT Press.
- GOEL, V. & PIROLI, P.(1992). Structure of Design Problem Spaces. *Cognitive Science*. Vol 16, No 3, Jul.- Sep. pp. 395 - 429.
- Gómez G., E., Maldonado G., L. F. y Vanegas, B. (1985). Autoridad, Libertad y Aprendizaje: Valores de docentes y discantes en la educación. *Investigación Educativa*, No 1.
- Hernández, D. (1994). *Qualitative representation of spatial knowledge*. N.Y.: Springer-Verlag.
- Hostadter, D. (1979). *Gódel, Eschery Bach*. New York: Basic Books.
- Isozaki, H. (1995). *Reasoning about belief basad en common knowledge of obsetvability of actions*. Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems ICMAS-95. Cambrige: AAI Press/ The MIT Press, 65-72.
- Ito, A. and Yano, H. (1995). The emergence of cooperation in a society of autonomous agents - the prisoner's dilemma gama:Under the disclosure of contract histories. Proceedings of the First International Conference en Multiagent Systems ICMAS-95. Cambrige: AAI Press/ The MIT Press, 65-72
- Johnson, W.L. and Soloway, E. (1987). Proust: an automatic debugger for pascal programs. En Kerasley, G.: *Artificial intelligence & instruction: applications and methods*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Kanter, F. H. and Phillips, J. 8. (1970). *Leaming foundations of be ha vior therapy*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Kerlinger, F. (1975). *investigación del comportamiento*. México: Editorial Interamericana.
- Kirsh, David & Maglio, Paul (1994). On distinguishing epistemic from Pragmatic Action. *Cognitive Science\_* 18(4), 513-594.
- Kowalski, R. (1986). *Lógica, programación e inteligencia artificial*. Madrid: Editorial Díaz de Santos. Traducido del Inglés: Logic for problem solving.
- Landow, G. (1992). *Hipertexto: la convergencia de la teoría crítica contemporánea y la tecnología*. Barcelona: ediciones Paidós.
- Leake, David B. (1996) Editor. *Case based reasoning : experiences, lessons & futura directions*. Cambridge, Massachusetts: AAI Press/ The MIT Press.
- Lugger, F.L. and Sutbblefield, W.A.(1993). *Artificial Intelligence: .Structures and strategies for complex problem solving*. Redwood City, CA: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc, Second Edition.
- Maldonado G., L. F. (1986). *La pedagogía y la función social del pedagogo*. Revista Acción Educativa No 7.

- Maldonado G., L. F. (1991b). *Procesos de interacción en un aula computarizada*. Informática Educativa, 4,1, 44-60.
- Maldonado G., L. F. (1992). *Hipertexto: una proyección educativa basada en el ambiente HyperCard-HyperTalk-HyperTalk*: Publicación Universidad Pedagógica Nacional.
- Maldonado G., L. F. (1992). *Modelos cognitivos e informática*. Memorias del Congreso Nacional de Informática Educativa. Bogotá.
- Maldonado G., L. F. (1992). *Programación Lógica*: Publicación Universidad Pedagógica Nacional.
- Maldonado G., L. F. (1994). *Análisis de Protocolos: una alternativa metodológica para el estudio de procesos cognitivos en personas con discapacidad*. Publicación Universidad Pedagógica Nacional.
- Maldonado G., L. F. (1994). *Diseño, Administración y Desarrollo de Proyectos en Educación*. Publicación Universidad Pedagógica Nacional.
- Maldonado G., L. F. (1995). *Creación de Hipertextos*. Publicación ICFES y Universidad Javeriana.
- Maldonado G., L. F. (1996a). Desarrollo Cognitivo, Informática, Lúdica y. *ACUC: Noticias Informáticas*, No 161, 39-41.
- Maldonado G., L. F. (1996b). La pedagogía como Ingeniería social. *Revista de Pedagogía*, No 14-15 Facultad de Educación, Universidad de Antioquia.
- Maldonado G., L. F. (1996c). *Learner Controlled, Computer-Basad Environment Fon Developing Design Capabilities*. Second Jerusalem International Science & Technology Education. Conference JISTIC 96. Proceedings.
- Maldonado G., L. E. y Sequeda, M. (1974). Duración y eficiencia de la conducta de estudio en el aprendizaje de matemáticas a nivel de cuarto grado de primaria. Tesis de grado Universidad Pedagógica Nacional.
- Maldonado G., L. E. y Vargas O., G. (1994). *Analogía, Metáfora y Análisis de Protocolos*. En memorias de la Primera Conferencia Colombiana Sobre Modelamiento Sistémico. Universidad Industrial de Santander.
- Maldonado G., L. F., Cuan A., L. B. y Gómez I., R. E. (1996). Proyectos Educativos Institucionales en Informática: Una estrategia sobre medida de formación de docentes de educación básica y media vocacional. *ACUC: Noticias Informáticas*, No 162, 32-34.
- Maldonado G., L. F., y Andrade L., E. A. (1996). *Ambiente Computarizado para el Aprendizaje Autodirigido del Diseño*. Universidad Pedagógica Nacional. (En prensa).
- Maldonado G., L. F. (1991a). *Proyecto de Desarrollo en Tecnologías de la Información y la Comunicación para el Sector Educativo (TECNICE)*. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional. Documento de circulación restringida.

- Maldonado G., Luis F., Monroy H., L. B., Carrillo, Y. y Terreo G., A. (1978) *Diseño y comparación de cuatro métodos de enseñanza en un curso introductorio de psicología del aprendizaje*. Bogotá, D.C.: Universidad Pedagógica Nacional.
- McCulloch, W. S. and Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5:115-137.
- Mitchel, Melanie (1996). *An introducción fo genétic algoritms*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- NELSON T. O., & NARENS, L. (1990). *Metamemory: A Theoretical Framework and New Findings*. In G. Bower (De.). *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol 26). New York: Academic Press.
- Newell, A. and Simon, H. A. (1956). The logic theory machina. *IRE Transactions no Information Theory*. 2(3), 61-79.
- Newell, A. and Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffts, NJ: Prentice Hall.
- Newell, Allen (1981). The Knowledge Laval. *AI Magazine*, Summer, 1-20.
- Osawa, E. (1995). *A metalevel coordination strategy fon reactive cooperatíve planning*. Proceedings of the First International Conference nn Murtiagent Systems ICMAS-95. Cambrige: AAAI Press/ The MIT Press, 65-72.
- Papert. S. (1980). *Mindstorms*. New York: Basic Books.
- Rich, E. y Knight. K. (1996). *Inteligencia Artificial*. Madrid McGraw Hill. Traducción del original. Artificial Intelligence.
- Russell, S. y Norvig, P. (1996). *Inteligencia Artificial Un en foque moderno*. México: Prentice Hall. Traducido del Inglés: Artificial Intelligence a modern approach.
- Samuel, A. L. (1959). Some studies in machina learning using the gama of checkers. *IBM Journal of Research and Developmert*, 3(3), 210-229.
- Shannon, C. E. (1950). Programming a computar for playing chess. *Philosophical Magazine*. 4(4), 256-275.
- Shannon. C. E. and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana The University of Illinois Press.
- Shapiro, S. (1987), Editor. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. New York: John Willey & Sons.
- Simon, H. (1989). *Prólogo a La Inteligencia Artificial y la Automática: aportación a la psicología del conocimiento*. Barcelona: Editorial Herder. Traducción del Francés: Psychologie, intelligence artificielle et automatique.

- Singh, Jagjit (1966). *Great ideas in information theory, language and cybernetics*. Versión en español: Teoría de la información, del lenguaje y de la cibernética. Madrid: Alianza Universidad.
- Sleeman, D. (1987). Micro~SEARCH: a shell for building systems to help students solve non-deterministic tasks. En Kerasley, G.: *Artificial intelligence & instruction: applications and methods*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Sowa, J. (1984). *Conceptual Structures: information processing in mind and machine*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Steinberg, Ester (1992). The potential of Computer-Based Telecommunications for Instruction. *Journal of Computer Based Instruction*, 19(2), 42-47.
- Streitz, N. (1987). Mental modal and metaphors: implications for the design of adaptive user-system interfaces. En Handl, H. and Lesgold, A. *Learning issues for intelligent tutoring systems*. N.Y. : Springer-Verlag.
- Sterling L. and Shapiro, E. (1986). *The Art of Prolog: advance programming techniques*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Tanimoto, S. L. (1987). *The elements of Artificial Intelligence: An introduction using LISP*. Rockville, Maryland: Computer Science Press.
- Thompson, P. (1987). *Mathematical microworlds and intelligent computer-assisted instruction*. In Kearsley, O. Editor: *Artificial Intelligence and instruction: applications and methods*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Turing, A. M. (1936). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2nd series, 42: 230-265. Correction published in Vol 43: 544-546.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, October, 59, 433-460. In Feigenbaum and Feldman, Editors (1995): *Computers & Thought*. Cambridge: AAAI Press / The MIT Press.
- Turing, A. M., Strachey, C. Bates, M. A. and Bowden, E.V. (1953). *Digital computers applied to games*. In Bowden, B.V. editor: *Faster than thought*, pag. 286-316. London: Pitman.
- Turkle, Sherry (1984). *El segundo yo: los computadores y el espíritu humano*. Traducción del original Inglés: *The second self: computers and the human spirit*. Buenos Aires: Ediciones Galápagos.
- Vargas, G. (1986). *Maleta Multimedial: derechos humanos, ética y moral*. Santa Fe de Bogotá, D.C.: Universidad Pedagógica Nacional, Centro de Informática. *Computers and system science*, vol 133, 142-155.
- Verdejo, M.F. (1994). *Collaborative Dialogue techniques in distance learning*. *Computer and system science*, vol 133, 142-155.



- Waterman, D. (1985). *A guide fo Expert Systems*. Reading, Massachussetts. Addison-Wesley Publishing Company.
- Wenger, E. (1987). *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*. Los Altos, CA.: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- Winston, P. H. (1992). *Artificial Inteligence* (Third Edition). Reading, Massachussetts: Addison-Wesley Publishing.

**RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES****Margie N. Jessup C., Ph. D.\*\*****Abstract**

*It has been wrongly considered for a long time that resolving problems is a fundamental science activity. This activity is a characteristic when considering others human activities. Nevertheless, such activity constitutes an intrinsic element of human common life in ah spheres of his or her daily life and both individual and social life, it has gone into of the scientific field to be applied to anothers. This has been thought to be an expression of creative thinking.*

*Due to it, since education in science different alternatives and approaches have been proposed. focusing in solving of problems like a process that con tributes to the appropriation of a scientific culture, that it is put at service of human being and it contributes well-being and of course, to elevate his or her qualty of life and of the groups it involves.*

*Given the importance of the theme for education, in this paper it's shown the Line of Investigation about solving problems in the frame of Doctorate in Education with emphasis in Education in Natural Science. Consequently, it presents succinctly the fundamental developings in the field, in order to point out the lineaments of this line of investigation.*

**INTRODUCCIÓN**

La búsqueda de calidad en la enseñanza —para el caso particular de las ciencias naturales— ha llevado al desarrollo de diferentes estrategias pedagógicas y de investigación en este campo. Los resultados de dichas investigaciones señalan múltiples causas de los diversos niveles de aprendizaje (memorístico, creativo, innovativo), relacionados con aspectos que van desde el conocimiento de la disciplina que se enseña hasta la aplicación de diferentes alternativas de enseñanza-aprendizaje, sin dejar de lado otros como concepciones, contextos, actitudes y habilidades, tanto de estudiantes como de profesores.

Para el caso colombiano, frente a los bajos resultados obtenidos por estudiantes colombianos en el Tercer Estudio Internacional sobre ciencias y matemáticas —TEIMC— (Summa, 1997), así como a requerimientos que se presentan al sector educativo en sus diferentes niveles y modalidades, relacionados con la carencia de desarrollo de pensamiento creativo en sus estudiantes así como de preparación para asumir responsable-mente la cotidianidad y contribuir a la creación de futuro en el país, la línea de investigación aquí presentada reviste importancia por cuanto existen a nivel mundial desarrollos teóricos que desde diferentes perspectivas curriculares, resaltan la

---

\* Profesora Asociada de T.C Departamento de Biología Universidad Pedagógica Nacional. Programa Interinstitucional de Doctorado en Educación

importancia del trabajo educativo encaminado hacia el desarrollo del pensamiento, particularmente en lo relacionado con procesos de resolución de problemas.

Por ejemplo, Garret (1988) referenciando a Blough (1942), Stollberg (1956) y Turner (1957), señala claramente cómo existe una antigua y ampliamente sostenida creencia de que resolver problemas es una actividad fundamental de la ciencia”, que la diferencia de otras actividades humanas. Este autor plantea que por el contrario, el proceso de resolución de problemas trasciende el campo científico pues incide en otras esferas de la vida humana a niveles individual y social, siendo considerado como una expresión del pensamiento creativo. Por consiguiente, este proceso ha sido tomado en algunos enfoques como actividad central en la educación en ciencias

## ACERCA DE LOS PROBLEMAS Y SU RESOLUCIÓN

En concordancia con la diversidad de cuestionamientos relacionados con la resolución de problemas, bajo esta denominación se incluye gran cantidad de tareas diferentes, hecho que de acuerdo con los planteamientos de Cohen (1977) ha contribuido a dificultar su interpretación teórica. Por ello, es conveniente presentar sucintamente qué se considera un problema en el campo de la enseñanza de las ciencias naturales, qué tratamiento ha habido por parte de diferentes autores y cómo se clasifican dichos problemas, así como también qué se considera resolución de problemas en este ámbito, lo cual permite comprender mejor el posicionamiento de la línea.

### ¿QUÉ ES UN PROBLEMA?

Algunos autores definen el término “problema” como una situación estimulante para la cual el individuo no tiene respuesta; en otras palabras, el problema surge cuando el individuo no puede responder inmediata y eficazmente a la situación (Woods y coautores, 1985).

Si se tienen en cuenta los planteamientos de Perales Palacios (1993), por problema puede entenderse cualquier situación prevista o espontánea que produce por un lado, un cierto grado de incertidumbre y por el otro, una conducta tendiente a la búsqueda de su solución.

Gil y colaboradores (1988) por su parte, consideran como problema una situación que presenta dificultades para las cuales no existen soluciones evidentes, pues una vez conocidas éstas, dejan de constituir problemas.

A su vez. Garret define el problema como una situación enigmática” es decir, aquella que no es ni solucionable ni resoluble sino sólo *comprensible* A estas situaciones el autor las denomina “problemas verdaderos”, mientras aquellas que potencialmente pueden ser resueltas dentro de un paradigma, las denomina “rompecabezas” (1984, 1987). De igual manera este autor plantea que cada persona, en dependencia de su personalidad de las estrategias o recursos de que disponga y de su conocimiento, puede tomar una determinada situación bien como problema, bien como rompecabezas, lo cual lleva a pensar que el considerar una situación dada como problema o no, es algo estrictamente personal.

Esto concuerda con los planteamientos de numerosos autores según los cuales, si para la solución de una determinada situación se requiere sólo la aplicación de un algoritmo —entendido éste como una prescripción establecida y completamente determinada previamente de la forma de actuar— ésta no puede ser considerada como un problema. Si por el contrario, para su solución se hace indispensable seleccionar o integrar dos o más algoritmos mediando procesos de análisis y razonamiento, ésta podría ser considerada un problema independientemente de si tiene una o más soluciones. Lo expuesto lleva a pensar, que en múltiples ocasiones aquello que es considerado por los docentes de ciencias como problema, no pasa de ser un simple ejercicio y que en consecuencia, lo que determina si la situación planteada por el profesor constituye o no un problema, son las etapas que implica su resolución.

A partir de los planteamientos anteriores, se puede inferir la existencia de una tipificación de problemas. Efectivamente, Frazer (1982) plantea que existen dos tipos de problemas: los “artificiales” y los reales”. Al primer tipo corresponden aquellos problemas cuya solución es conocida por la persona que los plantea, mientras los reales son aquellos que o no tienen solución o no se les conoce. Esto nos lleva indudablemente a la idea de que en concordancia con los desarrollos científicos actuales, un problema real en el campo de las ciencias naturales no debe ubicarse necesariamente en el marco de la física, la química o la biología, pero sí puede tener un fuerte componente de física, biología o química. Por consiguiente, resulta pertinente pensar en una resolución de problemas desde el punto de vista interdisciplinar o más aún, transdisciplinar, llevado al ámbito educativo.

Para Frazer los problemas artificiales pueden tener o no un objetivo dirigido y ser cerrados o abiertos, según posean una única solución o un número variable de ellas, en forma correspondiente. Sin embargo a diferencia de este autor, Garrett considera que los denominados por él “rompecabezas” pueden ser cerrados cuando tienen una o varias soluciones igualmente correctas y abiertos, cuando puede haber para ellos una o más respuestas que no son ni correcta(s) ni incorrecta(s) en términos absolutos, sino la(s) más adecuada(s) para el conjunto de circunstancias que rodean dicho problema.

Por último vale la pena reflexionar acerca de cuál es la diferencia esencial entre un problema experimental y otro de lápiz y papel. Parece que desde el punto de vista del planteamiento, ninguna. De cualquier manera, un problema experimental lleva en sí mismo el planteamiento teórico adecuado.

De igual forma cabe el interrogante. ¿Qué es resolver un problema?

## **¿EN QUÉ CONSISTE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS?**

Diferentes autores conciben la resolución de problemas de diversas maneras. Para Garret por ejemplo, resulta más afortunado referirse a “enfrentarse” a un problema que a “solucionarlo”; en ese sentido considera que el enfrentarse a un problema implica un proceso de pensamiento creativo y define la creatividad en términos de originalidad y utilidad de una posible solución a una situación dada.

Frazer por su parte, considera que la resolución de problemas constituye un proceso en el cual se utiliza el conocimiento de una determinada disciplina, así como las técnicas y habilidades de ella para salvar la brecha existente entre el problema y su solución. No obstante, debido a que en este tipo de definición no se consideran las condiciones propias

del sujeto que resuelve el problema, los representantes de la psicología gestaltiana consideran a este proceso como algo productivo, donde el sujeto que resuelve un problema requiere un cierto periodo de “incubación” seguido de una repentina ‘intuición”, gracias a la cual logra reorganizar mentalmente el problema (Meyer, 1977).

Otros autores como Kempa (1986) consideran que la resolución de problemas constituye un proceso mediante el cual se elabora la información en el cerebro del sujeto que los resuelve; dicho proceso requiere el ejercicio de la memoria de trabajo así como de la memoria a corto y largo plazo, e implica no sólo la comprensión del problema sino la selección y utilización adecuada de estrategias que le permitirán llegar a la solución.

Polyá por su parte (1982), considera que en el campo de las matemáticas, la resolución de problemas consiste tanto en un proceso de aprendizaje como en un objetivo en si mismo, así como una técnica básica que debe ser desarrollada.

Para otros autores la resolución de problemas podría ser el proceso mediante el cual se llega a la comprensión de una situación incierta inicialmente, para lo cual se requiere tanto la aplicación de conocimientos previos, como de ciertos procedimientos por parte de la persona que resuelve dicha situación (Gagné, 1971; Ashmore y coautores, 1979). Al respecto Novack plantea por su parte, que la resolución de un problema implica además la reorganización de la información almacenada en la estructura cognoscitiva de la persona que lo resuelve, es decir, que hay aprendizaje, modificándola (Novack; 1982, 1988).

Como resultado de todo lo anterior, se han presentado diferentes propuestas de modelos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias basados en la resolución de problemas, en cualquiera de sus enfoques. De cualquier forma, los siguientes aspectos se registran como centrales y se considera que deben ser tenidos en cuenta en la resolución de problemas como parte integrante de las estrategias de enseñanza de las ciencias:

- Compresión del área de conocimiento de a cual fue extraído el problema, es decir, la existencia de un dominio de conocimiento.
- El modelo de resolución deberá ayudar al alumno a plantear hipótesis, así como también a diseñar e implementar estrategias o experimentos que le permitan corroborar o improbar dichas hipótesis.
- La comprobación de la solución constituye la fase final del proceso de solución.
- Los problemas seleccionados deberían ser tomados de una situación natural.

## **SOBRE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO CAMPO DE INVESTIGACIÓN Y ACCIÓN**

### **Enfoques**

En relación con la resolución de problemas en el campo educativo es posible encontrar literatura a partir de 1910; actualmente constituye una línea fértil de investigación en el ámbito mundial, siendo un campo de trabajo de gran actividad y complejidad en los últimos veinte años.

Dicha complejidad guarda relación por una parte, con la diversidad de concepciones de enseñanza-aprendizaje que subyacen a las investigaciones y por otra, con los problemas específicos de investigación. Esto a su vez dificulta la interpretación teórica acerca de la resolución de problemas (Cohen, G., 1983) y la construcción de una visión sólida y global sobre el rol que desempeña en la educación en ciencias naturales (López B., Costa N., 1996), determinando la existencia de diferentes enfoques de investigación que bien se podrían ser resumidos en tres:

- Enseñanza **para** la resolución de problemas en ciencias naturales.
- Enseñanza **sobre** la resolución de problemas en ciencias naturales.
- Enseñanza de las ciencias naturales, **centrada** en la resolución de problemas.

Como es de suponer, tanto la investigación como la enseñanza de las ciencias centradas en la resolución de problemas no pueden excluir del todo la utilización de los dos enfoques restantes.

### Principales interrogantes

Como ilustración de la diversidad enunciada, cabe destacar algunos de los interrogantes planteados frecuentemente en la investigación en este campo:

¿Por qué es importante la resolución de problemas? ¿Qué es resolver problemas? (Garrett, R.M., 1988) ¿Qué significa el término problema en el marco de la enseñanza de las ciencias? ¿Existen diferentes tipos de problemas? ¿Qué tipos de problemas se pueden plantear en la enseñanza de las ciencias? (Sigüenza A.F.; Sáez, M: J., 1990). ¿Problemas aislados o clases de problemas? (Callejo ML., 1990). ¿Por qué resulta tan compleja la enseñanza para resolver problemas? ¿Cómo diseñar una instrucción orientada a aumentar la capacidad para resolver problemas? ¿Cómo evaluar dicha capacidad? ¿Basta que el profesor elabore un amplio listado de problemas para que el estudiante aprenda a solucionar otros? ¿Hasta dónde el problema de enseñar a resolver problemas se convierte en un problema de aprendizaje? El aprendizaje de la resolución de problemas ¿guarda relación con el problema de transferencia de conocimiento a contextos cotidianos? Si se tiene en cuenta que en la enseñanza de conceptos se indaga acerca de las ideas previas, o concepciones, o esquemas alternativos del alumno ¿qué se debería indagar para el caso de la resolución de problemas; ¿Utilizan los alumnos, durante los procesos de resolución, todos sus conocimientos sobre los conceptos y procedimientos involucrados en los problemas que resuelven? ¿Controlan sus procesos de pensamiento eligiendo los enfoques más adecuados y verificando tanto el proceso como la solución final? (Cobo Lozano, 1990) ¿Son iguales todos los procesos de resolución de problemas? ¿Hay diferentes tipos de resolventes? ¿Los problemas son fijos e independientes de su contexto y del resolvente? ¿Qué diferencia un buen resolvente de otro mediocre? (Gil y coautores, 1988) y otros más.

### IMPORTANCIA DE DESARROLLAR UNA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En las últimas décadas se ha venido enfatizando la importancia de transformar la enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales en un proceso de “redescubrimiento más que de transmisión de información, leyes, teorías, modelos y hechos, con base en

consideraciones tales como el avance acelerado del conocimiento, la relevancia de cierta información actual en el futuro, aspectos ético-filosóficos sobre los procesos de construcción de conocimiento científico y otras, las cuales ponen de manifiesto la necesidad de construir currículos que propendan por la superación de la transmisión de una cantidad cada vez más creciente de información, hacia un conjunto de procesos que permitan comprender la actividad científica, qué distingue esta actividad de otras y en general, que resulten de mayor utilidad para la vida cotidiana de cualquier individuo (Garrett, 1988).

Por otra parte, la revisión de literatura relacionada con currículos sobre enseñanza de las ciencias, pone en evidencia una serie de deficiencias que tienen su origen en una formación académica de estudiantes en la cual se prioriza el aprendizaje memorístico de conocimientos aislados, carentes de significado y trascendencia, susceptibles de ser olvidados fácilmente, formación que potencia:

- El desarrollo memorístico con bajo nivel de profundización de los contenidos y procesos.
- Alto grado de desorganización de conceptos aprendidos.
- Escasa probabilidad de generar nuevos conocimientos y procesos a partir de la reorganización de las estructuras y relaciones entre los conceptos de las disciplinas.
- Pasividad y tendencia a aceptar conocimientos y puntos de vista.
- Desarrollo progresivo de esquemas de pensamiento pobres, rígidos y estereotipados que conducen al estancamiento, a la rutina y a una elaboración intelectual superficial o de bajo nivel cognoscitivo (Amestoy de Sánchez, M., 1993).

Adicionalmente y de acuerdo con los planteamientos de Sigüenza y Sáez (1990), en el caso particular de la biología los conocimientos tradicionalmente se han contemplado y transmitido como una colección de hechos, principios, leyes, reglas e interacciones lógicas, práctica que no favorece el acceso del alumno a conocimientos en dicha disciplina, máxime si se tiene en cuenta el avance significativo de los mismos que determina el surgimiento de problemas y preguntas de interés científico, ético y social, hecho este último común a otras disciplinas científicas, que demandan alternativas para su enseñanza.

A esta altura sería posible plantear una hipótesis: a los estudiantes exitosos de ciencias naturales, posiblemente poseedores de cierta estructura y características de pensamiento o de formas de aprendizaje que les permiten un trabajo más adecuado en este campo que a otro tipo de estudiantes, probablemente se les ha propiciado, en ambientes adecuados de aprendizaje y mediante la realización de acciones sistemáticas y deliberadas el desarrollo de pensamiento creativo, proporcionándoles para ello oportunidades basadas en una educación actualizada que permite el desarrollo de habilidades intelectuales y su aplicación a la solución de problemas de la vida diaria y académica, llevando a que tales estudiantes posean un modo de actuar muy cercano al trabajo científico.

En concordancia con ella, se podría proponer que la meta educativa debería obedecer a una actitud en el aula de clase, donde primordialmente se desarrolle de forma conciente y deliberada, el pensamiento creativo de los estudiantes, propiciando su aprendizaje a través de la resolución de problemas y no de una simple acumulación de contenidos. En

otras palabras, el aprendizaje de las ciencias naturales debería basarse en el pensar y el hacer, no reducido a una simple transmisión-asimilación de conocimientos, que trascienda la sola reflexión filosófica y/o epistemológica y que se halle al nivel de los desarrollos actuales de los mismos. En concordancia con ello, como consecuencia de tales aprendizajes se desarrolla la capacidad de interpretar, valorar y tomar posición frente a hechos o fenómenos de la vida cotidiana que puedan guardar relación tanto con las ciencias naturales como con otras esferas de la actividad humana.

Retomando el planteamiento inicial acerca de la resolución de problemas aplicable a estas últimas, resulta comprensible asumir esta actividad como una alternativa pedagógica que puesta en práctica desde los grados iniciales hasta niveles educativos superiores, viabiliza una formación tendiente a la respuesta adecuada a un entorno cambiante y altamente interactivo tanto en el ámbito social, como científico y tecnológico.

En conclusión, la importancia de adelantar investigación en la línea Resolución de problemas se basa en la posibilidad de transformar el trabajo de aula aproximándolo a la forma de trabajo de los científicos, convirtiendo aquél en una herramienta educativa de gran utilidad, que permita a los educandos integrar sus nuevos conocimientos a los ya existentes, incluso llevando a cabo las reestructuraciones del caso, de tal manera que aplicando las reglas, teorías y leyes conocidas puedan originar nuevas ideas tendientes a la solución de problemas, desarrollando su espíritu científico y su comprensión de la ciencia.

## **SOBRE LA LÍNEA**

### **Fundamentación**

Como se mencionara previamente, en el ámbito de la enseñanza de las ciencias desde hace mucho tiempo se acepta que la educación científica no debe basarse solamente en la introducción de conceptos, leyes y teorías, sino que debe acercar además al estudiante al trabajo científico, viabilizando dicho acercamiento mediante la realización de diversas actividades entre las cuales se destacan las de tipo práctico, dado que éstas si se consideran en su sentido más amplio, deberían contribuir de manera importante al logro del objetivo ya planteado (Hodson, 1992).

En este punto conviene recordar que:

- Así como la resolución de problemas constituye un proceso clave en la enseñanza de las ciencias naturales (Dewey, 1975; Garrett, 1988), el uso de problemas es considerado un componente vital de la enseñanza de las ciencias (Sigüenza y Sáez, 1990).
- Los trabajos prácticos de laboratorio son considerados una variedad de problema.
- Usualmente en la literatura se encuentra una división muy marcada entre los denominados problemas de lápiz y papel” y los trabajos prácticos”, dentro de los cuales ocupan especial relevancia los trabajos prácticos de laboratorio.

En relación con este último punto, se ha reconocido que con gran frecuencia los profesores de ciencias utilizan después de la explicación de un tema la realización de problemas de aplicación, con el fin de lograr una mejor comprensión de los aspectos teóricos tratados. Sin embargo, el fracaso de los alumnos frente a esta actividad es muy



grande y en el mejor de los casos lo que se consigue es la aplicación mecánica de fórmulas y/ o definiciones estudiadas con anterioridad.

Adicionalmente, existe entre el profesorado de ciencias una confusión entre lo que se entiende por problema y lo que son los ejercicios de aplicación. Lo cierto es que los profesores consideran equivalentes estos dos aspectos los cuales se tratan de igual manera en los textos, con el consecuente resultado de hacer creer a los alumnos que están resolviendo problemas, cuando en realidad lo que se está planteando son simples ejercicios de aplicación. Esta situación ha generado además en los alumnos, algo que los psicólogos denominan "fijación funcional", in capacitándolos para resolver verdaderos problemas.

En igual forma, una buena cantidad de literatura señala la importancia de los trabajos prácticos de laboratorio en la enseñanza de las ciencias, los tipos de prácticas que deben existir y que existen en determinados libros de texto (Tamir y García Rovira, 1991) qué hay que renovar en los trabajos prácticos (González, 1992) y otros aspectos relativos al tema.

En ese sentido, algunos resultados de investigaciones realizadas en los últimos años señalan deficiencias que se presentan al realizar prácticas de laboratorio (Payá, 1991) El esfuerzo por superar la enseñanza libresco, centrada en contenidos, generó una serie de propuestas renovadoras en donde los trabajos de laboratorio aparecían como las clave del éxito, no obstante dichas estrategias no han resultado tan simples ni fáciles de aplicar y es así como la investigación didáctica ha puesto en evidencia grandes errores de concepción sobre la naturaleza del trabajo científico y sobre la orientación que se ha venido dando a las prácticas de laboratorio.

A este respecto, Hodson (1992) presenta una crítica fundamentada de los resultados obtenidos con la aplicación de currículos innovadores que pretenden encontrar en los trabajos de laboratorio la solución a los problemas de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias e intenta mostrar los inconvenientes del aprendizaje por descubrimiento y lo no adecuados que resultan para proporcionar una imagen correcta del trabajo científico.

Por el momento, en esta línea se concibe el problema diferenciándolo del ejercicio y se acoge a su clasificación en "reales" o "artificiales" y "abiertos" o "cerrados" según los términos ya expuestos. Por otra parte, la línea se fundamenta en una concepción de ciencia según la cual, ésta constituye una actividad humana, una forma de conciencia social, un sistema ordenado de conocimientos que se ha ido estructurando históricamente, cuya veracidad se comprueba y puntualiza constantemente con el devenir de la práctica social y como resultado de la dialéctica del conocimiento, en los nuevos contextos en que se desarrolla.

Las ciencias naturales a su vez, se consideran como las ciencias de la naturaleza, constituidas por el conjunto de disciplinas que la estudian, tomadas integralmente; su objeto de estudio radica entonces en las diferentes especies de materia, en sus formas de movimiento, en su manera de actuar y manifestar-se en la naturaleza, en sus nexos y leyes y en las formas básicas del ser (Rosental, ludin, 1973).

## **Objeto del trabajo**

Teniendo en cuenta que la experimentación como parte de la solución de determinados problemas de ciencias requiere como etapa previa a su realización el trabajo teórico, igualmente en términos de problemas, esta línea de investigación se ocupa de los

denominados en ella “problemas teóricos” y “problemas experimentales”, dado que en esencia, la diferencia fundamental entre unos y otros radica en ejecutar en el laboratorio lo diseñado y resuelto a nivel teórico, con base en una serie de conocimientos, habilidades, técnicas y destrezas desarrolladas previamente a partir de una serie de ejercicios prácticos, que tienen por objeto familiarizar al estudiante con las tareas del laboratorio y motivarlo hacia abordajes más complejos.

De igual manera, el trabajo teórico se considera como parte esencial de la resolución de problemas experimentales, en concordancia con algunos de los planteamientos registrados en la literatura.

### **Propósito de la línea**

En concordancia con lo expuesto, en esta línea se tratará de dar respuesta a interrogantes del tipo de los plantados frecuentemente en la investigación en este campo. De manera particular, se espera que el trabajo en esta línea de investigación permita:

- Establecer el significado del término problema en el marco de la enseñanza de las ciencias en Colombia. en los diversos niveles del sistema educativo.
- Caracterizar el tipo de problemas utilizados de manera predominante en diferentes niveles de la educación en ciencias naturales en el país
- Identificar la forma de realización de los trabajos prácticos de laboratorio en la educación en ciencias naturales en el país, en sus diferentes etapas.
- Establecer niveles de logro en cuanto al aprendizaje, según los abordajes identificados del trabajo práctico en el laboratorio
- Proponer modelos de problemas y alternativas de educación en ciencias naturales, centrados en la resolución de problemas
- Participar en el debate acerca de la educación en ciencias naturales con base en la resolución de problemas.

### **Acerca de la metodología de investigación**

En concordancia con los requerimientos de los proyectos a través de cuya realización se desarrolla la línea, se emplearán diseños metodológicos cualitativos y/o cuantitativos apropiados para cada caso según la naturaleza y etapa de realización de los diferentes proyectos, en concordancia con lo planteado en el documento marco de investigación en el área. Por consiguiente, se prevé la aplicación de metodologías de investigación educativa en las perspectivas empírico-analítica y humanístico-interpretativa.

Por otra parte, debido a que se espera proponer alternativas educativas y modelos de problemas para la educación en ciencias centrados en la resolución de los mismos, se prevé la utilización de modelos investigativos orientados a la práctica educativa, es decir, a la evaluación y el cambio.

### **Aportes de otros campos del saber**

De igual manera, el trabajo de investigación en la línea se apoya en los desarrollos de otras disciplinas tales como la psicología cognitiva, la epistemología, la neurobiología, la

sociología, la antropología y otros, así como también en los planteamientos y resultados provenientes de las demás líneas de investigación del Programa de Doctorado. A su vez, constituye fuente de retroalimentación de las mismas.

### Alcances y limitaciones de la línea

Los alcances de esta línea de investigación tienen gran trascendencia, pues en ella confluye el trabajo de otras líneas del Programa de Doctorado: los procesos de razonamiento se analizan a la luz de la resolución de problemas; la evaluación del desarrollo de diversas habilidades intelectuales a través de la educación en ciencias, se realiza teniendo en cuenta la resolución de problemas; las acciones, conocimientos previos, persistencia y utilización de los mismos se trabajan teniendo en cuenta dicha actividad, al igual que los aspectos relacionados con el trabajo en la línea de inteligencia artificial. Por consiguiente, su trascendencia puede convertirse en un momento dado tanto en una fortaleza como en una debilidad.

### BIBLIOGRAFÍA

- AMESTOY DE SANCHEZ. MARGARITA. 1993. El Desarrollo de habilidades de pensamiento y su aplicación a la enseñanza En: Innovación en la educación universitaria en América Latina. OEA. Proyecto Multirregional de Educación Media y Superior PROMESUP. Programa Regional de Desarrollo Educativo PREDE. P. 139-249.
- ASHMORE. A. D., FRAZER, M.J.; CASEY, R.J. 1979. Problem Solving and Problem Solving Networks in Chemistry. J. Chem. Educ- Vol 56, p 377-379.
- CALLEJO, M. L. 1990 En. Marín N. Condiciones Fundamentadas de Enseñanza-Aprendizaje para la Resolución de Problemas en Ciencias. Multilit.
- COBO LOZANO, 2. 1996. Análisis de las actuaciones de alumnos de 3º de BUP en la resolución de problemas que comparan áreas de figuras geométricas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), p. 195-207.
- COHEÑ, G. 1983. Psicología Cognitiva Alhambra, Madrid.
- DEWEY, J. 1910. How We Think D O Heath, Boston.
- DEWEY, J. 1975. Experiences in Education New York Collier Books, New York.
- FRAZER, M.J, 1982. Solving Chemical Problems, Chemical Society Review, 11(2), p. 171-190.
- GAGNE, R.N. 1971. Las condiciones del aprendizaje. Aguilar, Madrid.
- GARRETT, M.R. 1988, Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*. 6(3), p. 224-230.
- GIL PÉREZ, D.; MARTINEZ TORREGROSA, J.; SENENT PEREZ, F. 1988. El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), p. 131-146.

- GONZÁLEZ, M. 1991. ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), p. 206-211.
- HODOSN, D. 1992. Redefining and Reorienting Practical Work in School Science. *School Science Review*, 73(264) p. 65-68.
- KEMPA, R.F. 1986, Resolución de problemas de química y estructura cognoscitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), p. 99-110.
- LOPES, B.; COSTA, N. 1996. Modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la resolución de problemas: Fundamentación, presentación e implicaciones educativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 45-61.
- NOVACK, J.D. 1982. Teoría y práctica de la educación. Alianza Editorial. Madrid.
- . 1988. Constructivismo humano: un Consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), p 2 13-223.
- PAYÁ, J. 1991. Los trabajos prácticos en la enseñanza de la física y de la química. Un análisis crítico y una propuesta fundamentada. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- PERALES PALACIOS, F.J. 1993. La resolución de problemas: una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2)m p. 170-178.
- POLYÁ, G. 1982, Cómo plantear y resolver problemas. Trillas, México. 10ª ed.
- ROSENTAL, M.; IUDIN, P. 1973. Diccionario filosófico. Ediciones Universo. Argentina
- SIGÜENZA, A.F y SÁEZ, M.N. 1990. Análisis de la resolución de problemas como estrategia de la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), p. 223-230.
- SUMMA, 1997. Lo educación y la riqueza de las naciones, pp. 69-77
- TAMIR, P.; GARCÍA ROVIRA. M. DEL PILAR 1992 Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de texto de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las Ciencias* 10(1) p 3-12.
- WOODS. D R.: CROWE: CM., HOFFMAN, T W y WRIGTH, J D 1985 Challenges to Teaching Proolem-solving skills. *Chem. 13 Bews* (Waterloo University) 155, p. 1-12.

## DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE RAZONAMIENTO COMPLEJO EN CIENCIAS

*Fidel Antonio Cárdenas Salgado Ph. D.\**

### Abstract

*Despite the enhanced importance given by science educators and researchers to evaluation in sciences in the past, the search for better and more reliable assessing processes is nowadays a research priority.*

*Although the areas of science to be assessed have been generally accepted as including knowledge of concepts and facts, process skills, science thinking, problem-solving skills, abilities needed to manipulate laboratory equipment and the disposition of students to apply scientific knowledge, the impact of assessment on students, teachers and parents has not been overlooked. However, advances in cognitive psychology, science education and research on assessment on science are calling for new dimensions, such as complex reasoning, to be researched in the field.*

*Complex reasoning is a competence included as a desirable outcome of Science education in many Science curricula and is characterized by the following attributes: problem-solving, decision-making and critical and creative thinking. This paper presents a theoretical framework for assessment in science involving the development of competencies through science education and emphasizes complex reasoning. A working model to categorize assessment tasks in complex reasoning is described and some of the main questions to be researched in the area are stated. The need for interdisciplinary work as well as close interaction with other lines of investigation has also been put forward.*

*It is the main objective of this line of research to explore and propose more systematic assessment processes in science education to trace the evolution of students understandings and achievements mainly in secondary schools.*

### Introducción

Antes de centrar directamente la atención en la evaluación de los procesos de razonamiento complejo o en especial en el tema de la evaluación en ciencias, es conveniente abrir un espacio, así sea muy corto, para reflexionar sobre aspectos muy generales, pero no por eso carentes de importancia en la educación en ciencias; tal es el caso, por ejemplo, de la concepción de ciencia y la educación en ciencias como fundamento del desarrollo humano y económico. Estas son dos dimensiones importantes que influyen directa e indirectamente en el aprendizaje y en los aspectos a evaluar a lo largo de la ejecución de un curso y en toda la vida escolar del hombre.

### Una concepción de ciencia

Algunas ideas acerca de la naturaleza de la ciencia se pueden tomar del pensamiento de Schlesinger (1). Según él, es posible que a lo largo de la evolución de la especie humana haya habido y quizá aún haya, culturas que han aceptado o que acepten el

\* Profesor Asociado Departamento de Química. Universidad Pedagógica Nacional Programa Interinstitucional de Doctorado en Educación Área Educación en Ciencias Naturales.

mundo y su devenir sin mucho o ningún esfuerzo por explicarlo o por hacerlo comprensible; sin embargo, hoy se admite que la naturaleza humana es de por sí inquisitiva y que quiere ir más allá de la mera aceptación de los acontecimientos.

En la actualidad, hay cierto consenso en el sentido de que no existe una sola forma de ver y explicar el mundo. Para algunos es caótico impredecible y por tanto imposible de conocer; para otros es misterioso y mágico, por consiguiente solo conocible por quienes alcanzan el dominio de lo mágico y finalmente, hay también quienes aceptan una mezcla de estas creencias, es decir, que parte del mundo es susceptible de conocer y explicar y que parte de él y su funcionamiento es inexplicable. Es dentro de esta última forma de ver donde parece ubicarse mejor la ciencia.

Dentro de este contexto, la ciencia hace relación a la búsqueda de explicaciones naturales y racionales para los fenómenos que se observan en el universo. Es el producto del desarrollo intelectual de una cultura, quizá el máximo exponente del desarrollo del pensamiento humano, que incorpora una forma particular de pensar y un cuerpo coherente de conocimientos producto del esfuerzo de muchas generaciones de científicos.

Como forma de aproximación a la búsqueda de explicaciones, la ciencia es intencionada, quienes laboran en ella lo hacen con propósitos específicos; es parcial, ningún científico conoce absolutamente todo; es orientada por una construcción teórica, lo cual significa que ninguna investigación científica parte de cero; es empírica, ya que trata de confrontar las representaciones intelectuales del mundo con la realidad; es social, en la medida que es una producción colectiva; es dinámica, puesto que sus explicaciones son falibles y por tanto modificables con el tiempo.

Por otra parte, la ciencia tiene una profunda repercusión social a nivel mundial; tal repercusión se puede observar en distintos ámbitos de la sociedad, en lo económico, en lo político, en lo ambiental, en lo ético y en lo tecnológico. Así, la educación en ciencias, y a través de las ciencias, ha de representar para cada estudiante un espectro de oportunidades que le permitan participar activamente en las empresas propias de la ciencia, es decir en la búsqueda de explicaciones en sus procesos de producción, en sus aplicaciones y en sus usos.

Es preciso, sin embargo, dejar claro que la ciencia no es un tipo de conocimiento arbitrario. Al igual que en las demás formas de conocimiento existen criterios de juicio que le son aplicables para establecer su validez, si bien cada forma de conocer tiene sus propios criterios de juicio, que no necesariamente son transferibles de un campo a otro, existe uno que es aplicable al conocimiento en todas sus formas: es el criterio de satisfacción de la comunidad que produce y mantiene esa forma particular de ver el mundo (1), esta afirmación, lejos de ser una aceptación casual y superficial, estar satisfecho con una explicación, dentro de este contexto significa ubicar dentro de un constructo particular de explicaciones no solamente nuestra experiencia sino también nuestros valores y nuestras aspiraciones,

### **La educación en ciencias base de un desarrollo humano y económico**

Considerando la educación en general como un proceso mediante el cual intencionadamente una sociedad, por una parte desarrolla pertenencia a su cultura en los nuevos ciudadanos y por otra contribuye a que cada uno de ellos mejore y desarrolle todas las potencialidades que sean susceptibles de hacerlo, la educación en ciencias

puede considerarse como un proceso intencionado, mediante el cual desde las ciencias y a través de ellas, una sociedad contribuye a que cada ciudadano desarrolle y mejore todo aquello que en su naturaleza es susceptible de desarrollar y mejorar. Así, si la educación es un medio de humanización, la educación en ciencias también lo es por extensión.

Si bien es cierto, que gran parte del acervo cultural de una sociedad se hereda de generación en generación por el simple hecho de nacer y crecer en ella, es el caso de muchas creencias y visiones religiosas del mundo o del conocimiento común, esta no es la situación de la herencia cultural científica de la humanidad. La educación en ciencias en una sociedad tiene sentido en la medida que se acepte y se juzgue importante e incluso necesario, que la juventud adquiera y practique ciertos conocimientos, habilidades, valores y perspectivas científicas las cuales no se adquieren solamente por el hecho de nacer y vivir dentro de esa sociedad. En otros términos, si se acepta, que para poder adquirir esas competencias se requiere de manera intencionada y sistemática exponer a los niños y a los jóvenes a una serie de actividades académicas a lo largo de su vida escolar, mediante las cuales muy probablemente se les facilita su adquisición (2).

Como base de un desarrollo humano que es, la educación en ciencias debe permitir a los ciudadanos el perfeccionamiento al máximo de todas sus capacidades y potencialidades humanas así como también una preparación adecuada para desempeñar un papel eficiente y digno dentro de la sociedad, es decir que si algunos de ellos se dedican a la ciencia, a partir de ella puedan construir un proyecto de vida de calidad.

Por otra parte, en la mira de posibilitar el perfeccionamiento de los seres humanos desde la ciencia, es pertinente tener en cuenta que el conocimiento científico se produce y se desarrolla mediante el uso de habilidades características del hombre, dentro de las cuales se incluyen entre otras, habilidades prácticas, de comunicación y de pensamiento; por lo tanto, es de esperarse que la exposición de los niños y de los jóvenes a diferentes actividades científicas contribuyan a desarrollar dichas potencialidades.

Como motor de desarrollo económico, la educación en ciencias ha de conducir a la formación de ciudadanos competitivos, que a su vez forjen sociedades competitivas. Las grandes organizaciones, las grandes compañías y en general las sociedades del mundo actual luchan y se preocupan por mantener una posición de liderazgo en un mundo cada vez más basado en la capacidad de competir. A su vez, esta capacidad para competir está dependiendo en gran medida de los conocimientos científicos y tecnológicos que posean los individuos y las sociedades. Es dentro de este contexto que el desarrollo de las potencialidades humanas debe estar orientado a preparar un ciudadano capaz de actuar con libertad, responsabilidad, pertenencia y reconocimiento.

En una sociedad cimentada sobre los avances científicos y tecnológicos o que se mueva en esta dirección, el analfabetismo científico es excluyente; aquellas personas sin una visión científica del mundo y sin unos conocimientos científicos mínimos, no solamente tienen cada vez menos posibilidad de acceso al trabajo y por tanto a las fuentes económicas, sino también una poca participación activa en los diferentes ámbitos de la dinámica social. Desde este punto de vista un desarrollo económico que propenda por la igualdad social presupone una alta educación en ciencias con el fin de evitar o por lo menos mitigar el surgimiento de una nueva forma de discriminación social.

Una sólida educación en ciencias contribuye también a mantener la cohesión y la estructura social, así como también a mejorar la comunicación dentro de una cultura y entre las culturas. En la medida en que todos los miembros de una comunidad, profesen y

practiquen formas comunes de entender el mundo, la vida, el entorno y por tanto tengan una idea clara de su existencia y de su razón de ser, se facilita la comunicación y la convivencia pacífica. Del mismo modo, la comunicación intercultural hoy por hoy se fundamenta en conceptos científicos o en sus aplicaciones tecnológicas.

## **ALGUNAS CAPACIDADES HUMANAS SUSCEPTIBLES DE SER DESARROLLADAS DESDE LAS CIENCIAS NATURALES**

Sería muy difícil hacer una descripción detallada de todas y cada una de las capacidades<sup>1</sup> humanas que se pueden desarrollar desde la educación en ciencias a lo largo de la vida escolar, sin embargo, a partir de la literatura acerca de los objetivos de la enseñanza de las ciencias y de los tópicos que se tienen en cuenta para evaluar, es posible encontrar que existen puntos característicos los cuales, bajo diferentes nombres se han buscado desarrollar en los estudiantes a través del tiempo. Además, a juicio de muchos profesores del área, estos aspectos no solamente aparecen como deseables sino también necesarios para la educación de los seres humanos dentro de una sociedad.

De una manera muy esquemática, la educación en ciencias propende por el desarrollo de los siguientes grupos de capacidades a lo largo de la vida escolar de los alumnos (3)

### **Habilidades Básicas — Habilidades de Procedimiento — Habilidades Investigativas**

Dentro de cada uno de estos grandes grupos de habilidades a su vez es posible ubicar subgrupos particulares. Así por ejemplo, entre las habilidades básicas se encuentran las de observar, recolectar datos, medir, manipular instrumentos, seleccionar apropiadamente metodologías particulares, interpretar adecuada y correctamente textos e instrucciones sencillas, así como también la habilidad requerida para seguir estas últimas en una forma eficiente.

Las habilidades procedimentales, que bien podrían llamarse también metodológicas comprenden las habilidades para hacer inferencias y las de seguir procedimientos propiamente dichas. Entre las habilidades de inferencia se pueden incluir: la distinción entre una observación y una inferencia, la elaboración de generalizaciones a partir de las observaciones y de otras inferencias, la realización de deducciones a partir de las hipótesis y la modificación de éstas para dar cabida a nuevas observaciones y a nuevos datos.

Entre las habilidades procedimentales se encuentran otras como: la adopción de métodos apropiados junto con los respectivos parámetros de seguridad para su aplicación en el desarrollo de un experimento determinado o de una investigación en proceso; la selección de procedimientos e instrumentos adecuados para la solución de un problema particular. En este grupo de habilidades también se incluyen aspectos como la capacidad para seleccionar apropiadamente los intervalos necesarios en una escala, durante la realización de mediciones particulares de una propiedad de la materia con instrumentos determinados, y el establecimiento de las variables propias acerca de las cuales se debe recoger información, una vez seleccionado un proceso específico, así como también la recolección de los datos relacionados con estas variables y su presentación en forma adecuada.

---

<sup>1</sup> El término capacidad, dentro de este contexto, significa talento o disposición para la comprensión de los conceptos y procedimientos científicos y es, por lo tanto sinónimo de habilidad intelectual



Las habilidades investigativas por su parte, implican el dominio de conocimientos en un área del saber, el dominio de los procedimientos científicos, el pensamiento crítico y el razonamiento complejo entre otras (4,5). El término razonamiento complejo incluye la resolución de problemas, la toma de decisiones y el pensamiento creativo (6).

Por otra parte, a través de la educación en ciencias es posible desarrollar algunas habilidades propias del dominio afectivo, tales como la capacidad de emitir juicios de valor, el respeto por la forma de pensar de las demás personas, la capacidad de trabajo en grupo y por tanto la tolerancia y la convivencia social.

Sería presuntuoso pensar que en la descripción anterior están incluidas todas las potencialidades humanas que se pueden desarrollar desde la educación en ciencias, o que ésta es la mejor categorización de las mismas. A pesar de los esfuerzos investigativos que se adelantan en este campo, aún hay mucho por hacer. El desarrollo de otras potencialidades en el ser humano a partir de la educación en química, por ejemplo, todavía está por investigarse y es en este campo, como en el del establecimiento de otras categorías y formas de evaluarlas, donde se requieren los aportes de nuevas investigaciones.

### **Metas de la Educación en Ciencias**

En última instancia la Educación en ciencias ha de ser un proceso a través del cual se forme un ciudadano en los aspectos profesionales y personales. Tanto la formación profesional como la personal deben orientarse hacia una utilidad individual y colectiva.

Así, la Educación en Ciencias debe apoyar a los estudiantes en el desarrollo de sus habilidades básicas, de procedimiento y de investigación a fin de formar hombres idóneos para vivir en sociedad.

A nivel un poco más particular, la educación en ciencias debe propender por la adquisición de la capacidad para recordar y aplicar conocimientos específicos, llevar a cabo procedimientos científicos y razonar en forma compleja, operar con eficiencia y seguridad materiales y equipos de laboratorio; desarrollar actitudes y valores de respeto y tolerancia para con sí mismo, con los demás y con el medio ambiente. De la misma manera, la educación en ciencias debe formar para el dominio del lenguaje de la ciencia, la comunicación intercultural y por tanto para la adaptación a las situaciones cambiantes del mundo moderno.

### **Educación en Ciencias y Adquisición de Competencias**

A lo largo del desarrollo de la educación en ciencias se han venido utilizando varios términos para denotar los resultados que se esperan obtener luego de un período escolar. Usualmente éstos términos están muy relacionados con las teorías del aprendizaje que fundamentan la acción del docente. De acuerdo con esas teorías, se han empleado vocablos como conductas, conocimientos, dominios, logros y habilidades, entre otros.

Desde hace ya algún tiempo se ha venido introduciendo con el mismo objetivo el término competencias, y hoy se habla del desarrollo de competencias, de la adquisición de competencias o de las competencias deseables que un estudiante debería tener al dejar la educación secundaria o la universidad. Así, durante la vida escolar la educación en ciencias propende por el mejoramiento de las habilidades básicas procedimentales e investigativas, cuyo fin último es hacerlo idóneo o apto para vivir en una sociedad.

El término competencias dentro del contexto de resultados que se esperan de la acción educativa de las ciencias, describe la capacidad que posee un alumno para hacer uso de sus conocimientos y habilidades para lograr un propósito determinado (7).

Una concepción de competencias en el sentido de idoneidad o aptitud, para, de una parte, permite hacer énfasis en los resultados del aprendizaje, el cual debe tener un propósito y algún efecto que se pueda mostrar; y, de otra, estimula la evaluación de esos resultados deseables, ya que posibilita concentrar la atención en la evaluación, no solamente de los propósitos que se quieren alcanzar, sino también de los conocimientos y de la pericia requerida para su empleo.

Si bien es cierto, que el concepto de competencias no puede verse aislado de los resultados que se esperan del sistema educativo en general y de la preparación requerida por un ciudadano para ejercer un rol determinado dentro de la sociedad, en el contexto de este documento se circunscribe su uso y significado al campo de la educación y en particular de la educación en ciencias. En estos términos es posible hablar de competencias esenciales o fundamentales, que pueden lograrse dentro de un área básica, de la educación, como son las ciencias naturales.

Una primera clasificación de estas competencias apareció por primera vez, en 1985, en la propuesta del comité de Calidad de la Educación en Australia en los siguientes términos: Adquisición de información, comunicación de la misma, aplicación de procesos lógicos, desarrollo de tareas prácticas y de tareas en grupo. Algunos años más tarde, pudo llegarse a una caracterización un poco más sistemática de las competencias esenciales (8) que en la actualidad se buscan como resultados deseables de una creativa y eficiente educación en ciencias. Estas competencias se describen a continuación:

**Recolección análisis y organización de información.** Se estima necesario que un ciudadano en la actualidad, desarrolle habilidades para ubicar, seleccionar y clasificar la información que se requiera en un momento determinado y presentarla de tal manera que sea útil para él mismo o para otras personas; de la misma manera, se requiere que sea competente para hacer una evaluación de la información en sí y de los métodos y fuentes empleadas para obtenerla, en otras palabras se requiere formar personas competentes para el manejo eficiente de información con alta calidad.

**Comunicación de información e ideas.** Una de las características del mundo moderno es la comunicación clara de la información y de las ideas y es preciso formar ciudadanos aptos para hacerlo, se trata del desarrollo de la capacidad de comunicarse con otras personas mediante todo un espectro de formas de comunicación que incluyen la expresión oral y escrita, el empleo de gráficas y otras formas no verbales de la misma.

**Planeación y organización de actividades.** No menos importante que las anteriores es el desarrollo individual de una gran capacidad de planeación y organización de sus propias actividades, lo cual incluye hacer un buen uso del tiempo y de los recursos, el establecimiento de prioridades y un continuo control de su propio desempeño.

**Capacidad de trabajo en grupo.** Se trata de ganar habilidad para interactuar con los demás en forma individual y grupal, cada vez más se requiere de personas con un alto sentido de pertenencia y una gran capacidad de trabajar en grupo con responsabilidad y eficiencia.

**El empleo de ideas y técnicas matemáticas.** En la sociedad moderna cada vez es más imperativa la necesidad de una gran idoneidad para manejar y aplicar ideas matemáticas para emplear el espacio, el tiempo y los números, así como también para la estimación de cantidades y para realizar aproximaciones dentro de contextos prácticos.

**La resolución de problemas.** Se propende también por el desarrollo de una gran competencia para aplicar estrategias de solución de problemas, no solamente en aquellos casos cuando el problema y la solución son evidentes, sino también en aquellas situaciones donde se requiere el pensamiento crítico y una aproximación creativa a la situación para buscar un resultado.

**El uso de la tecnología.** El desempeño eficiente de un ciudadano en la sociedad actual requiere cada día más de una buena capacidad para hacer uso de la tecnología combinando sus habilidades físicas e intelectuales, para la operación de equipos con un claro entendimiento de los principios científicos y tecnológicos que se precisan para la exploración y la adaptación de nuevos sistemas

### **Competencias y razonamiento complejo**

Del grupo de competencias descritas anteriormente, quizá, la que requiere un análisis más detallado acerca de sus relaciones con la educación en ciencias, es la de la resolución de problemas, por cuanto si bien es cierto que dentro de este campo se tratan problemas muy sencillos, lo es también, que la solución de problemas abarca el desarrollo de procesos de razonamiento muy complejos, como los que se requieren para tener éxito en la realización de una investigación; es quizá por esta razón, que en la actualidad se hace tanto énfasis en su desarrollo y en la investigación de formas adecuadas de establecer su progreso a través de los diferentes sistemas educativos.

Los antecedentes de la investigación en el campo del razonamiento complejo, al igual que los del establecimiento de competencias en los seres humanos, se ubican en los Estados Unidos en la década de los 80. Por aquella época, este movimiento, no solamente tuvo una gran influencia en la comunidad educativa, sino que desde allí se ha ido extendiendo a muchos otros países. En la década del 90 es una poderosa línea de investigación en el campo de la educación en ciencias en el mundo (9,10)

Implícitamente, la expresión razonamiento complejo conlleva una serie de habilidades de pensamiento entre las que se han identificado la resolución de problemas, la toma de decisiones, el pensamiento creativo y el pensamiento crítico, que a manera de objetivos, propósito o resultados esperados, en la actualidad se expresan en los diferentes programas de las disciplinas científicas, para las distintas instituciones educativas del nivel secundario e incluso de la universidad (3.11, 12).

Dentro del contexto anterior, es posible decir que el dominio de los procesos de razonamiento complejo implica el desarrollo de competencias para resolver problemas, tomar decisiones, hacer uso crítico de las teorías conceptos y principios científicos así como también, pensar en forma creativa acerca de ellos.

La habilidad para resolver problemas lleva, a su vez a ser capaz de: integrar los procedimientos o la información aprendida para dar cumplimiento a una tarea; combinar diferentes procesos científicos en una estrategia coherente para terminarla con éxito y responder con eficiencia a situaciones nuevas.

En la toma de decisiones se incluye la capacidad para seleccionar apropiadamente los datos o conocimientos importantes junto con un procedimiento que permita alcanzar una conclusión

El pensamiento creativo, expresado en la capacidad para usar críticamente las teorías y los conocimientos científicos, a su vez implica ser capaz de: identificar las suposiciones sobre las cuales se hacen algunas generalizaciones, ubicar falacias aparentemente lógicas dentro de un argumento, reconocer conclusiones no válidas, establecer el valor de las ideas y la autoridad sobre la cual se hacen ciertas generalizaciones, críticamente examinar lo apropiado o no de los datos y demostrar originalidad en los diseños y en la producción relacionada con el desempeño.

Algunos otros estudios sobre los procesos de pensamiento complejo (13, 14, 15, 16) han conducido al establecimiento de las siguientes características que representan el grupo de atributos más utilizado para describir la resolución de problemas, la toma de decisiones, el pensamiento crítico y el pensamiento creativo; nótese como este grupo de atributos incluye los descritos en los párrafos anteriores,

**La solución de problemas.** Implica ser capaz de identificar, reconocer y representar el problema, integrar información o procedimientos para alcanzar una solución y contrastar y analizar las soluciones obtenidas.

**Toma de decisiones.** Para tomar una decisión se requiere establecer una meta, un problema o un resultado; seleccionar conocimientos, información datos o procedimientos importantes que sean adecuados para llegar a una conclusión, a describir una situación o para sustentar un argumento; analizar información alternativa, datos o argumentos para hacer comparaciones y contrastes; emplear la inducción para hacer inferencias o predicciones que sean consistentes con un grupo de datos o suposiciones; seleccionar entre varias la mejor alternativa, emitir un juicio de valor; justificar la toma de una decisión con base en la información producida por si mismo o suministrada por otros y evaluar resultados a partir de una información dada

**Pensamiento crítico y creativo.** Se manifiesta en la idoneidad para identificar suposiciones con respecto a una información dada; sintetizar información; juzgar la credibilidad de una información, de unos datos y de la autoridad sobre las cuales se fundamentan; justificar un punto de vista con base en la información producida; hacer deducciones, es decir, sacar conclusiones que son verdaderas necesariamente si un grupo de suposiciones es verdadero; ubicar falacias lógicas dentro de un argumento; reconocer conclusiones que son inválidas; evaluar el valor de ideas o la utilidad de una información o dato y demostrar originalidad y propiedad en sus diseños producciones o desempeños.

### **La evaluación del razonamiento complejo**

Autores como Barón (17), han propuesto para la evaluación de los procesos de razonamiento complejo de los estudiantes, técnicas tales como la discusión interactiva, el análisis de los escritos de los alumnos, la realización de diferentes actividades para observar el desempeño y las tradicionales pruebas de lápiz y papel; sin embargo, se ha argumentado con bases investigativas, que un reducido número de actividades desarrolladas en el aula no es criterio suficiente para juzgar la riqueza conceptual de un alumno en un momento dado (18). Además se cree que un sistema de evaluación basado en instrumentos que buscan prioritariamente establecer conocimientos declarativos, es

poco congruente con el razonamiento complejo que trata fundamentalmente con procesos de pensamiento divergente.

Así pues, parece haber suficientes razones para dejar aparte las tradicionales pruebas de lápiz y papel o, por lo menos, disminuir su importancia y experimentar formas más abiertas incluyendo un abordaje de aproximación múltiple.

Es pertinente, además, tener en cuenta que el desarrollo de los procesos de razonamiento complejo en un alumno, están acompañados de ciertas características actitudinales, cuyo control puede arrojar información importante para la evaluación de tales procesos (14). Algunas de estas manifestaciones de actitud son: un carácter reflexivo, una mentalidad abierta, la curiosidad, la perseverancia, la precisión y una gran capacidad de aceptar los distintos puntos de vista presentados por otras personas, es por ésta razón que dentro de ésta línea de investigación, la evaluación y el control de tales características es una parte importante.

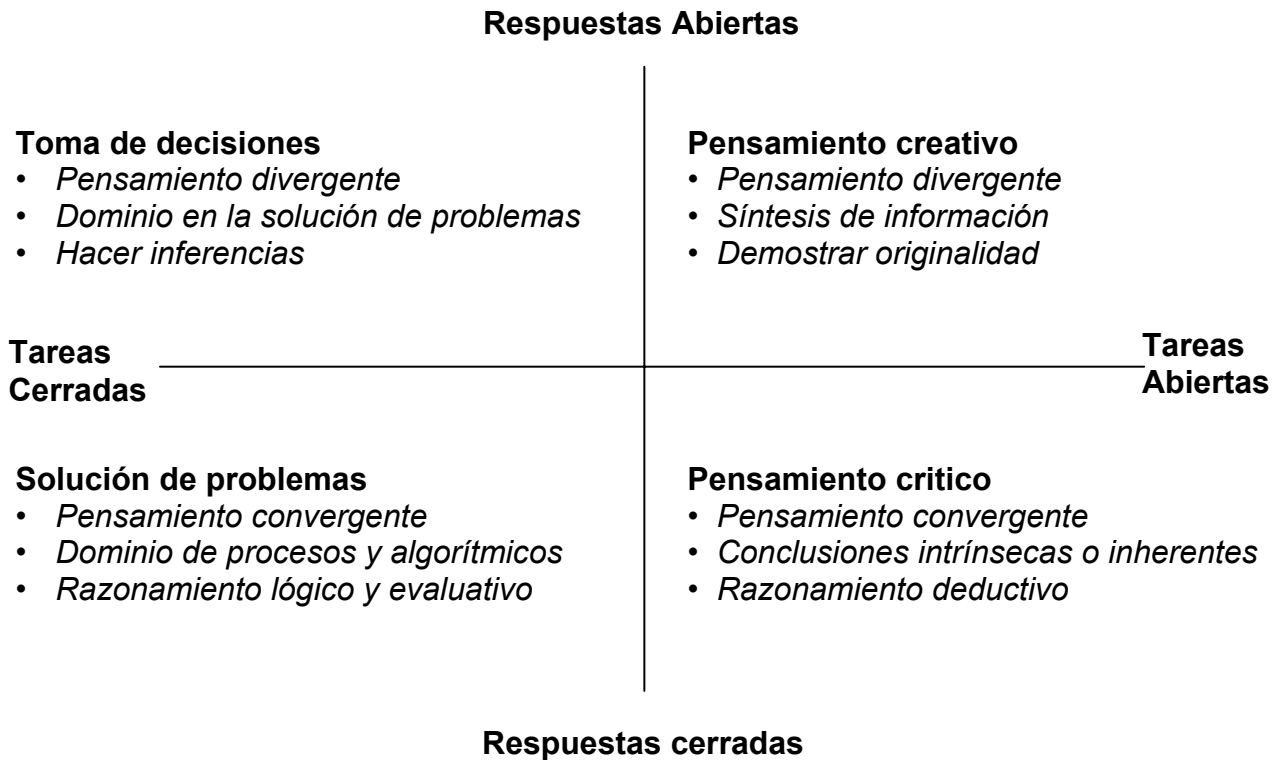
### **Un modelo para la clasificación de las tareas de razonamiento complejo**

Una de las situaciones a resolver, dentro del contexto de esta línea de investigación, es la relacionada con la categorización de una tarea determinada como resolución de problemas, pensamiento crítico, pensamiento creativo o toma de decisiones. En este sentido, se han seguido varios caminos, el primero de ellos es mirar detenidamente las palabras con las cuales se presenta la tarea; otro consiste en identificar las palabras o frases que subyacen en los constructos de cada caso. Sin embargo, las dos formas anteriores carecen de uniformidad en el establecimiento de categorías, ya que las palabras tienen diferentes sentidos para distintas personas.

En realidad lo que se requiere es un modelo que permita relacionar las tareas de evaluación y los constructos subyacentes con las categorías de razonamiento complejo definidas en los términos ya expuestos.

Una aproximación en la dirección anterior ha sido propuesta por Wakefield (19), cuyo modelo, con algunas modificaciones (20), resulta muy útil en el establecimiento de categorías para la evaluación de los procesos de razonamiento complejo, ya que es posible clasificar las tareas como cerradas o abiertas, según la presentación de sus términos iniciales y finales.

Cuando se ordenan las características de estas tareas y sus respuestas en forma continua, en un extremo las cerradas y en otro las abiertas, y estos continuos se ubican sobre las coordenadas cartesianas, entonces se encuentra un campo de definiciones teóricas que se divide en los cuatro cuadrantes. Estos cuatro cuadrantes son: tareas cerradas con respuestas cerradas, tareas cerradas con respuestas abiertas, tareas abiertas con respuestas cerradas y tareas abiertas con respuestas abiertas. Estos cuatro cuadrantes pueden hacerse corresponder bastante bien con los cuatro procesos del razonamiento complejo; resolución de problemas, toma de decisiones, pensamiento crítico y pensamiento creativo, como se representa en la figura 1.



**Figura 1.** Un modelo para la categorización de tareas en los procesos de razonamiento complejo (19).

Puesto que en el modelo se involucran variables continuas y no discretas, la discusión sobre la ubicación de situaciones abiertas y cerradas es de tipo racional y contextual, por tanto, no puede esperarse una ubicación estática y única para cada una de las situaciones y su clasificación de alguna manera está sujeta al juicio de quien las juzgue.

Dicho de otra manera, las situaciones que involucran solución de problemas, toma de decisiones, pensamiento creativo y pensamiento crítico, no necesariamente están confinadas a una sola categoría, puede haber aspectos de otras categorías que acompañan a una predominante; así por ejemplo, una situación de resolución de problemas puede incluir algún grado de toma de decisiones o una situación de toma de decisiones puede también incluir algo de pensamiento crítico, por supuesto que una situación de pensamiento crítico también puede requerir del pensamiento creativo.

A pesar de todo y dentro de un contexto particular, las categorías de tareas y sus respuestas se pueden identificar en primer lugar ubicándolas como relativamente abiertas o relativamente cerradas; y en segundo lugar por los constructos constituyentes de razonamiento complejo que estén presentes en cada caso, de esta manera a partir de dicha clasificación es posible proponer los respectivos esquemas de calificación. A continuación se presenta una descripción más detallada para la interpretación del modelo

### **Resolución de problemas: tareas cerradas y respuestas cerradas**

La tarea es cerrada porque presenta en forma bien definida o bien estructurada un estado inicial en el cual el conocimiento la información o los parámetros requeridos para

responderla se presentan todos o se asumen que son conocidos. La respuesta es cerrada ya que la tarea tiene bien definida una meta final, en otras palabras, la respuesta se produce a partir de un procedimiento general conocido y la solución se evalúa contra un parámetro o estándar establecido por acuerdo. Así, la situación requiere de un pensamiento convergente o de un pensamiento lógico para producir una respuesta que sea aceptable para una situación particular. La connotación de problema cerrado en este caso es la misma presentada por Hadden y Johstone para el caso de los miniproyectos (21).

El siguiente ejemplo ilustra esta situación desde el campo de la química. En cuatro tubos de ensayo se tienen soluciones de Cloruro de Bario, Sulfato de Cobre, Ácido Sulfúrico diluido y Cloruro de Sodio. Sin ayuda de ningún otro reactivo químico, establezca en cual tubo de ensayo se encuentra cada una de las soluciones.

### ***Toma de decisiones: tarea cerrada y respuesta abierta***

En esta categoría se ubican aquellas situaciones donde la tarea tiene un estado inicial bien definido pero una meta final poco establecida. De esta manera, el problema está bien establecido pero sus soluciones son abiertas hasta el punto de que pueden tener muchas variaciones y todas ellas son aceptables. Dentro de estas situaciones se encuentran aquellos casos de estrategias de resolución de problemas o de pensamiento divergente, en donde se apunta a la utilización de la toma de decisiones.

En el caso de las ciencias biológicas, en este tipo de tareas puede incluirse la descripción de restos fósiles que se hayan encontrado, donde se incluyan respuestas concernientes a su posible nicho, hábitat y clasificación.

Desde el punto de vista de la Química, la situación anterior se puede ilustrar así: A partir de los siguientes reactivos químicos Zinc, Ácido Clorhídrico diluido, cinta de Magnesio, Clorato de Potasio, Dióxido de Manganeso e Hidróxido de Sodio, produzca diferentes reacciones químicas y clasifíquelas.

### ***Pensamiento crítico: tareas abiertas y respuestas cerradas***

La tarea es abierta porque tiene un bajo nivel de definición en su estado inicial o éste es poco estructurado. Esto es, comparada con aquellas tareas bien definidas, las señaladas poseen pocas indicaciones de procedimiento y pocos parámetros para construir la respuesta o solución. En estos casos la respuesta es cerrada puesto que se requieren procedimientos bien establecidos en cuya aplicación se precisa emplear el pensamiento convergente. Además, se requiere el reconocimiento y una selección interna de alguna estrategia de procedimiento que no es muy obvia.

Así por ejemplo, en aquellos casos en los cuales a partir de una poca información sobre una enfermedad se requiere su diagnóstico y sus causas para recomendar un adecuado tratamiento, quien lo hace necesita una gran habilidad en el manejo del pensamiento crítico para responder en forma adecuada, no necesariamente de la misma manera que lo harían otras personas.

Una situación semejante a la anterior se presenta con la siguiente tarea: Calcular el volumen molar de un gas a 18 grados centígrados y 560 mm de mercurio

## **Pensamiento creativo: tareas abiertas y respuestas abiertas**

En algunos casos extremos la tarea no tiene ninguna definición para el alumno y él la tiene que definir. Lo mismo sucede con la producción de la respectiva respuesta. El grado de apertura de la tarea varía de acuerdo con el contexto, con la misma tarea y con el nivel de empleo de estrategias de pensamiento creativo. Así por ejemplo, la propuesta de un método para estudiar prácticas de conservación y describir estrategias de manejo para optimizar el uso de un área de interés grupal, requieren un grado razonable de pensamiento creativo. De igual modo, el diseño de una actividad práctica que permita establecer los diferentes tipos de soluciones o de mezclas.

### **El carácter interdependiente de esta línea**

Puesto que el proceso de aplicación de instrumentos de recolección de datos en una investigación, así como también su diseño y construcción obedecen a un determinado paradigma, habrá tantos instrumentos y modificaciones de los mismos, cuantos principios teóricos desde los cuales se oriente la investigación.

De cualquier manera, independientemente de la teoría desde la cual se enfoque cada trabajo, habrá una forma de control propia de la misma investigación y unos logros preestablecidos a alcanzar, el carácter autocorrectivo de la investigación así lo exige (22).

En estas condiciones, la línea de investigación en evaluación estará íntimamente ligada al paradigma o a los paradigmas teóricos que soporten el concepto de aprendizaje o de desempeño académico. Así, en cada uno de los proyectos de tesis se han de integrar conocimientos de disciplinas como la Psicología Cognitiva, las Ciencias Naturales, y la Educación en Ciencias, en este sentido serán de gran utilidad los logros y progresos de las demás líneas del programa

## **PERSPECTIVAS DE LA LÍNEA**

Con todo lo difícil que resulta hacer predicciones sobre los rumbos futuros de una tarea que apenas comienza, en principio, los trabajos dentro de esta línea se orientan a determinar las concepciones de ciencia, evaluación, importancia de la ciencia y la evaluación, existentes actualmente en profesores y alumnos y a establecer el progreso de estos últimos en el logro de competencias dentro del contexto descrito en este documento. Naturalmente, la evaluación del progreso de los alumnos hacia el logro de una o varias competencias implica por parte de los investigadores el diseño y la experimentación de los instrumentos respectivos.

Por otra parte, los aspectos desarrollados en las páginas anteriores, permiten formular algunas preguntas, cuyas respuestas, a través de una o varias tesis, han de conducir a la consolidación de esta línea como un campo de producción de conocimiento que oriente y dirija la evaluación en ciencias en el país.

Una de estas preguntas hace relación con el pasado y la evolución de la evaluación en ciencias en Colombia, ¿cuál ha sido su pasado y su evolución?, la búsqueda de respuestas a esta pregunta permite tener claridad sobre los métodos y las competencias que se han evaluado y en la actualidad se están evaluando en ciencias, este conocimiento es fundamental para proyectar sobre bases sólidas las nuevas orientaciones de la evaluación en Ciencias.



Otros de estos interrogantes pueden formularse de la siguiente manera: ¿cuáles son, si existen, los mejores instrumentos para evaluar las habilidades básicas procedimentales e investigativas en un grupo de estudiantes?, cuáles son las mejores formas de evaluar los procesos de razonamiento complejo en las ciencias naturales? Las respuestas a estas preguntas podrían conducir a la producción de materiales de evaluación de nivel general en el país así como también, al ofrecimiento de cursos de formación permanente de profesores que se interesen por el mejoramiento de los procesos de evaluación.

También es de gran importancia dentro de esta línea, la búsqueda de respuestas a preguntas como ¿cuáles son las concepciones actuales que los docentes tienen sobre habilidades básicas, procedimentales e investigativas? ¿Es posible o no, elaborar una matriz de relaciones entre las capacidades humanas a desarrollar y el papel educativo de las ciencias naturales? Y, quizá más importante aún tratar de responder a la pregunta ¿cuáles son las habilidades básicas, procedimentales e investigativas que poseen los docentes actuales de ciencias?

Dado que la educación colombiana actualmente transita de un sistema educativo a otro, y por tanto de un sistema evaluativo basado en las normas y la autoridad del Ministerio de Educación, hacia un sistema basado en la institución educativa y su medio, tiene mucho sentido la realización de una o varias investigaciones orientadas a diseñar y experimentar modelos de evaluación centrados en criterios propios de cada institución con base en su misión particular.

Toda la búsqueda de respuestas a estas preguntas y a muchas otras que se formulen los doctorandos alrededor de estos temas conducirán a establecer algunos de los lineamientos generales sobre la evaluación por logros que hoy tanto necesitan los docentes no sólo de ciencias sino de todas las áreas en el país.

## Referencias

1. Schlesinger, Allen B. Explaining Life. McGraw-Hill, Inc. 1994.
2. The A.S.E. Science teachers Handbook. Edited by Jhon Nellist and Brian Nicholl. Hutchinson and Co.Ltd. 1986.
3. Board of Senior Secondary School Studies. Queensland. Chemistry Senior Syllabus. 1995.
4. Butler J. Teachers Judging Standards in Senior Science Subjects. Fifteen Years of the Queens Land Experiment. Studies in Science Education. 26. p 135-157. 1995.
5. Bice K.G. , McGregor J., Robertson I. J. y Weston R. A. J. Techniques for Assessing Process Skills in Practical Science. TAPS II. Heineman Education Book. 1989.
6. Benderson A. Crítica Thinking: Critical Issues. Princenton N.J. Educational Testing Service. 1990.
7. Karmel, P. Quality of Education in Australia. Report of The Quality of Education Review Committee. AGPS, Canberra. 1985.

8. Mayer Committee. Employment Related key Competencies: A Proposal for Consultation. Mayer Committee Melbourne. 1992.
9. Butler J. Classroom Strategies to Develop Complex Reasoning Skills: Problem Solving, Decision Making and Critical Thinking. The Queensland Science Teacher, 1993. vol 19 N<sup>o</sup> 4. P 12-33.
10. Lordan C.P. Assessing Complex Reasoning Processes in Biological Sciences in Queensland. Master of Sciences Thesis. Graduate School of Education. Queensland University. 1996.
11. Board of Senior Secondary School Studies. Queensland. Physics Senior Syllabus. 1995.
12. University of Queensland. Graduate School of Education. Science Area Curriculum Study .1996.
13. Edwards J. y DallAlba G. Development of a Scale of Cognitive Demand for Analysis of Printed Secondary Science Materials. Research in Science Education. 11. 1981.
14. Ennis R.H. A Taxonomy of Critical Thinking. In J. Baron and R. Sternberg (Eds). Teaching Thinking Skills: Theory and Practice. New York. W.H. Freeman and Company. 1987.
15. Kean M. Assessing Higher Order Thinking Skills: An Overview of The Issues, Princeton, NJ: ERIC Clearinghouse on Tests, Measurement and Evaluation. 1986.
16. Quellmalz E.S. Developing Reasoning Skills. In J. Baron and R. Sternberg (Eds). Teaching Thinking Skills: Theory and Practice. New York W H. Freeman and Company. 1987
17. Baron J.B. Evaluating Thinking Skills in the Classroom. In J. Baron and R. Sternberg (Eds). Teaching Thinking Skills: Theory and Practice. New York. W.H. Freeman and Company. 1987.
18. White R. Implications of Recent Research on Learning for Curriculum and Assessment Journal of Curriculum Studies. 24. 2. 1992.
19. Wakefield J. Creative Thinking: Problem Solving Skills and The Arts Orientation. Norwood, N. J: Ablex Publishing Corporation. 1992.
20. Jordan P and Kerr C. The Getting of Wisdom: Assessing Critical Thinking In The Chemistry Classroom. Proceedings of The 14<sup>th</sup> International Conference on Chemical Education. Workshop 2-12. The University of Queensland. 14-19 July 1996. Brisbane Australia.  
Editor: Warren F. Beasley.
- 21 Hadden B and Johnstone A. H. Miniprojects An Introduction to the "World of Science"? Chemed. Australian Journal of Chemical Education. Vol. 27. Pp. 39-45. March 1990
22. Cohen L. and Manion L. Research Methods in Education. Third Ed. Routledge. London 1989.

## LA ELABORACIÓN DE LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS

*Fabio Vélez U. Ph. D.\**

### Abstract

*One of the Lines of research of the interinstitutional Doctorat on Education of Sciences, coordinated by the Universidad Pedagógica Nacional, is titled "Elaboration of the scientific Concepts" The present article tries to explain, justify and delimitate the field of action of the Line. The article is divided in two parts. In the first one, we give an example of what we understand about such Elaboration. In the second one, we establish the theoretical frame of the Lines.*

### Introducción

Una de las líneas de investigación del Doctorado interinstitucional de Educación en Ciencias, coordinado por la Universidad Pedagógica Nacional, lleva el nombre de "elaboración de los conceptos científicos". El presente artículo pretende explicar, justificar y delimitar el campo de acción de la línea. El artículo tiene dos partes. En la primera Ponemos un ejemplo de lo que entendemos por elaboración de los conceptos, y en la segunda presentamos el marco teórico de la línea, tomando como base los resultados del análisis de la primera parte.

## 1. ESTUDIO FENOMENOLÓGICO DE UN PROBLEMA FÍSICO: LA CAÍDA LIBRE

### El problema

Las ciencias naturales no admiten leyes a priori, y sin embargo Galileo en su libro *Consideraciones y Demostraciones Matemáticas* sobre dos nuevas Ciencias demuestra a priori que los cuerpos más pesados (más grandes) no pueden caer en el vacío más rápido que los cuerpos menos pesados, por consiguiente, deben caer con la misma velocidad. Debe haber un error lógico en la demostración, ¿dónde?

### Comentario

Nuestra línea de investigación se mueve dialécticamente entre la historia de una ciencia y la ciencia de la cual se hace historia. El problema que planteamos es histórico, pero nuestra preocupación primordial no es la histórica sino la científica, una preocupación que en ningún momento puede dejar de lado el contexto histórico en el cual se plantea el problema. En esta interacción dialéctica entre historia y ciencia se descubren parentescos, relaciones, contrastes y asociaciones que llevan a un refinamiento de los conceptos. Hay niveles de comprensión, los conceptos se refinan o se elaboran cuando se pasa de un nivel a otro. Y aunque la historia no es el único método de refinamiento,

---

\* Profesor Asociado, Departamento de Sociales, Universidad Pedagógica Nacional Programa interinstitucional del Doctorado en Educación, Área Educación en Ciencias Naturales.

tiene algunas ventajas sobre la simple resolución de problemas, como veremos a lo largo de la exposición.

## El relato histórico

La física aristotélica sostenía que los cuerpos más pesados caen más rápido que los menos pesados, en el mismo medio. Un cuerpo de plomo, 10 veces más pesado que otro cuerpo de plomo, cae, en el aire, 10 veces más rápido. El interés de Galileo no es tanto refutar a Aristóteles como justificar su hipótesis de que todos los cuerpos caen con la misma velocidad en el vacío, independientemente de su peso y de su naturaleza, una aseveración completamente original y de una audacia enorme para su tiempo. Para exponer sus ideas, Galileo utiliza el diálogo, sus personajes simbolizan el pensamiento aristotélico: Simplicio el pensamiento libre de prejuicios Sagredo, el pensamiento revolucionario de la nueva ciencia: Salviati. En la reconstrucción del relato histórico seguiremos el texto de las Consideraciones. Después de que Simplicio, a solicitud de Sagredo, ha expuesto la enseñanza aristotélica sobre la no existencia del vacío, en donde aparece la tesis aristotélica sobre la proporcionalidad de las velocidades y de los pesos, en un mismo medio, Sagredo toma la palabra para mostrar que muy a pesar de lo que afirma Aristóteles, la velocidad de caída de cuerpos diferentes, en un mismo medio, no es proporcional a los pesos.

Sagredo. Yo, sin embargo, señor Simplicio, que no he hecho la prueba, os aseguro que una bala de cañón que pese cien, doscientas o más libras, no aventajará ni siquiera en un palmo en su llegada al suelo, a una bala de mosquete de media libra, aunque la altura de la caída sea de doscientas brazas

Salviati. Sin recurrir a otras experiencias, podremos probar claramente, sin embargo, con una demostración breve y concluyente, que no es verdad que un móvil más pesado se mueva a más velocidad que un móvil más liviano, con tal de que ambos sean de la misma materia, como es el caso, sin duda, de aquellos de los que habla Aristóteles. Pero decidme antes, señor Simplicio, si admitís que a todo cuerpo pesado en caída libre le corresponda una velocidad determinada, de modo tal que no se pueda aumentar o disminuir a no ser que le hagamos violencia o le pongamos alguna resistencia.

Simplicio: Está fuera de toda duda que el mismo móvil en el mismo medio tiene una velocidad reglamentada y determinada por la naturaleza, la cual no podrá aumentarse a no ser por un impulso nuevo ni disminuirse si no es recurriendo a algo que la obstaculice y la retarde.

Salviati: Entonces, si nosotros tuviéramos dos móviles, cuyas velocidades naturales fuesen distintas, es evidente que si uniésemos ambos, el más rápido perdería velocidad por obra del más lento, mientras que éste aceleraría debido al más rápido. ¿Estáis de acuerdo con lo que acabo de decir?

Simplicio: Me parece que las cosas deben ciertamente, suceder así.

Salviati. Pero sí esto es así, y si es verdad, por otro lado, que una piedra grande se mueve, por ejemplo, con una velocidad de ocho grados y una piedra pequeña, con una velocidad de cuatro, si las unimos, el resultado de ambas, según lo dicho, será inferior a ocho grados de velocidad. Ahora bien, las dos piedras juntas dan por resultado una más grande que la primera que se movía con ocho grados de velocidad; de lo que se sigue que tal compuesto se moverá a más velocidad que la primera de las piedras sola, lo cual

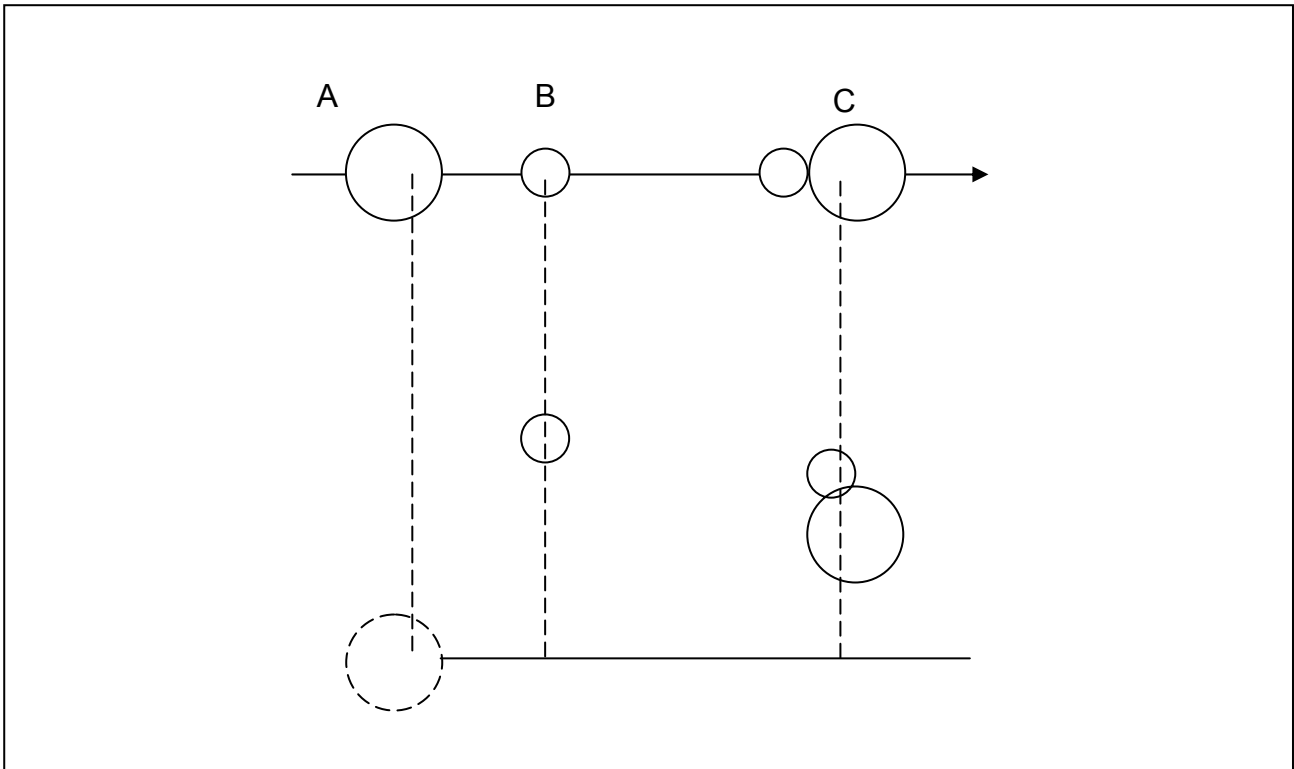
contradice vuestra hipótesis. Veis, pues, cómo suponiendo que el móvil más pesado se mueve a más velocidad que el que pesa menos, concluyo que el más pesado se mueve a menos velocidad mientras caen.

## Un experimento imaginario

No es este el momento de discutir la importancia y el papel que desempeña el experimento imaginario y consiguientemente la argumentación imaginaria en el desarrollo de las ciencias. No se trata ciertamente de un simple artificio para suplir la experimentación real, se trata más bien de un paso intermedio, necesario, entre el mundo de las entidades puramente matemáticas y el mundo real. Su importancia es tal, que nos atreveríamos a afirmar que no hay experimento real que no se haya concebido antes como imaginario. Galileo está convencido de la existencia del vacío, pero la experimentación en el vacío es imposible para su tiempo. Esto no le impide imaginar el vacío y lo que podría pasar en la caída de dos cuerpos de la misma naturaleza y de diferente peso. La caída se debe a una fuerza inmanente al cuerpo, a su naturaleza, diría Aristóteles, por esta razón, así como al plomo en comparación con el cobre, por ejemplo, le corresponde un peso diferente por unidad de volumen (peso específico diferente), así cabe suponer que al plomo le corresponde una velocidad natural de caída diferente a la del cobre. Dentro de este contexto se entiende que ¡a ley aristotélica, según la cual la velocidad de caída en un mismo medio es proporcional a los pesos, se refiere indudablemente a los cuerpos del mismo peso específico. Galileo demostrará más adelante que todos los cuerpos, independientemente de su tamaño y de su peso específico, caen con la misma velocidad en el vacío. Esta demostración es propiamente el objetivo fundamental del texto de las Consideraciones que estamos estudiando, nosotros sin embargo elegimos arbitrariamente el argumento menos importan' te en la demostración, pero a nuestro modo de ver, bastante curioso. Hasta donde llegan nuestros conocimientos, se trata de un argumento que fue ignorado por los contemporáneos de Galileo, en particular por sus enemigos, que bien lo podrían haber aprovechado para ridiculizar sus pretensiones científicas. Galileo por otra parte, está absolutamente convencido de la legitimidad de su argumentación a priori, de lo contrario no se habría expuesto tan ingenuamente a los ataques de enemigos tan poderosos.

Antes de entrar al análisis del argumento, conviene reconstruir el experimento imaginario por medio de imágenes.

El cuerpo A es más pesado que el cuerpo B. El Cuerpo C es la reunión de dos cuerpos idénticos a los cuerpos A y B. Los dejamos caer en el vacío, es decir, en un medio 'infinitamente' sutil. Si el cuerpo B cae más lentamente que el cuerpo A, parece completamente evidente que el cuerpo C caerá más lentamente que el cuerpo A, pues B le resta velocidad. Habrá que hacer el experimento real? No es necesario. La experiencia común, cotidiana, nos dice que el corredor más lento le resta velocidad al más rápido si están unidos por una cuerda o por cualquier otro medio. Hasta aquí la argumentación parece completamente legítima. Pero Galileo continúa. El cuerpo C es más pesado (más grande) que A, por consiguiente debe caer más rápido que éste, de acuerdo con la hipótesis inicial de que los cuerpos más pesados caen más rápido. Llegamos así a la conclusión absurda de que un mismo cuerpo debe caer más rápido y más lento que otro.



C cae más despacio que A, porque B le resta velocidad. C cae más rápido que A, porque es más pesado que éste. Un mismo cuerpo cae más despacio y más lento que otro.

La segunda parte de la demostración no nos convence tan fácilmente como la primera. Los dos cuerpos unidos por una cuerda no son un cuerpo, son dos, basta mirar la figura. Dos círculos no son un círculo! De acuerdo, pero en este caso la atención está dirigida a la forma, círculo, y no a la entidad física, piedra, por ejemplo. ¿No se puede decir con toda razón que dos piedras dan por resultado una piedra más grande? La forma (figura) influye ciertamente en la velocidad de caída en un medio, como lo sabía Aristóteles y el mismo Galileo. Una hoja de cobre no cae con la misma velocidad, en el aire, que un clavo de cobre. Pero en el vacío, donde no hay resistencia, la forma de la piedra no tiene por qué influir en la velocidad de la caída, ni siquiera, para los aristotélicos, que no admiten el vacío, pero que seguramente se lo pueden imaginar. Y si la forma no influye, ¿no habrá que decir que dos piedras juntas forman una piedra más pesada? ¿No estamos convencidos? Acortemos la cuerda, despreciemus su peso, no dan dos piedras amarradas por resultado una piedra más grande, o si prefiere, ¿más pesada? Y si es así, ¿no habrá que decir que caen más rápido que la mayor de ellas sola? La hipótesis nos lleva a una contradicción, es por consiguiente, falsa: los cuerpos más grandes (más pesados) no pueden caer más rápido que los cuerpos más pequeños, deben caer con la misma velocidad, en el vacío.

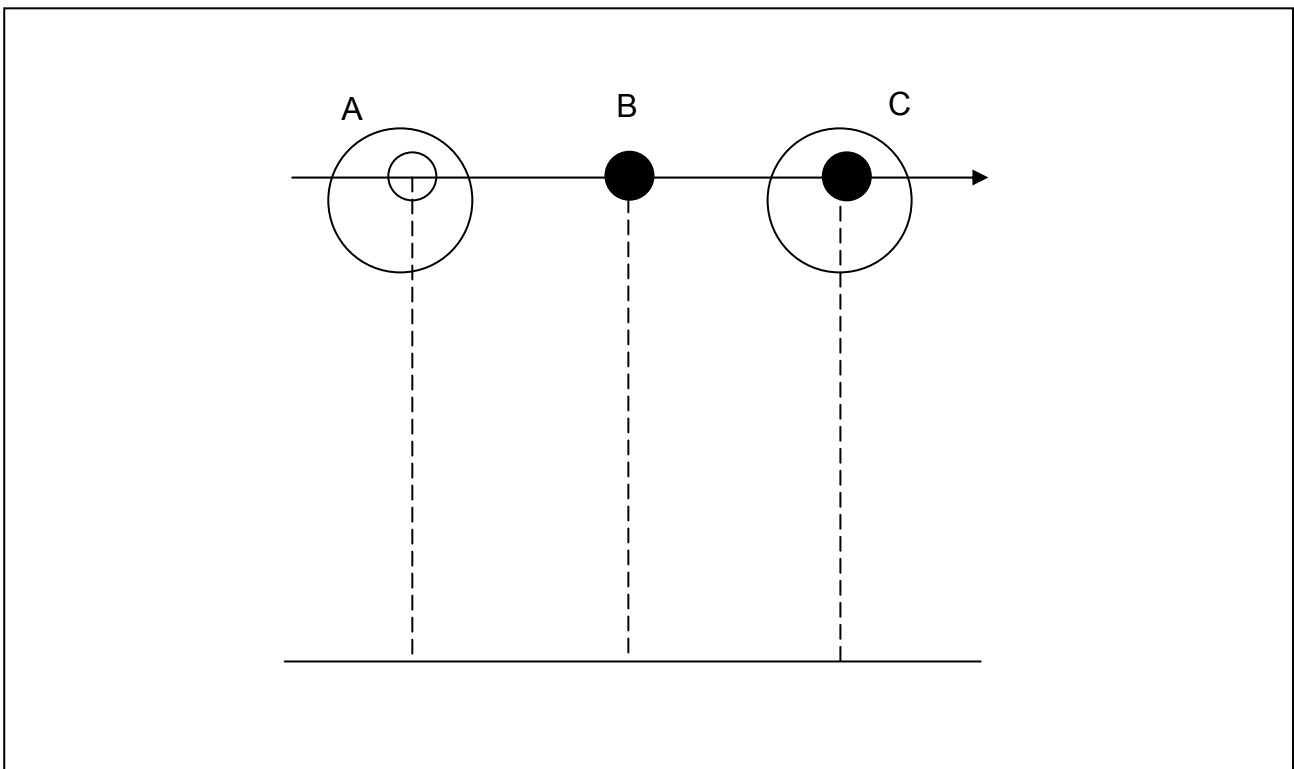
Supongamos ahora que el cuerpo A es de plomo y el cuerpo B de cobre. ¿Qué sucede? Que la argumentación se hace imposible, pues es evidente que la reunión de A y de B no dan por resultado un cuerpo más grande, de la misma naturaleza de los dos cuerpos anteriores. Se entiende entonces por qué uno de los supuestos de la demostración es la igualdad de los pesos específicos.

La línea que estamos proponiendo supone que hay niveles de comprensión desde el más superficial al más profundo. Esta profundización se lleva a cabo de diferentes

maneras, cuya formalización corresponde por supuesto a la investigación. Pero una de las formas de profundización es ciertamente la coordinación de unos conocimientos con otros en todo el sentido piagetiano del término. En el ensayo que estamos haciendo, el concepto de la caída libre entró en relación, cuando menos lo esperábamos, con otros conceptos, el de la aditividad del peso (el peso de A + el peso de B dan por resultado un peso mayor), el de la legitimidad o no legitimidad del apriorismo en física (se puede demostrar a prior que los cuerpos más pesados no pueden caer más rápido que los menos pesados?), la utilidad o no utilidad de la argumentación imaginaria, etc.

Finalmente, aprovechando el caso que nos ocupa, podemos salirnos por un momento del contexto histórico para plantear el problema en términos más actuales. El cuerpo A es más grande que B y tiene además una cavidad exactamente igual a B. El cuerpo C es igual a A, pero dentro de la cavidad lleva al cuerpo B. De acuerdo con la argumentación galileana, el cuerpo C cae más despacio que A, porque B le resta velocidad, y más rápido que A, porque es más grande. La conclusión no se puede aceptar, por lo tanto la suposición de que los cuerpos más pesados caen más rápido es falsa.

Ya no es solamente Simplicio quien se asombra, nosotros también. ¿Dónde está el error? Nuestros conocimientos físicos actuales son muchísimo más avanzados que los conocimientos del siglo XVII, la caída de los cuerpos no se debe a un ímpetu natural ni a una fuerza motriz inmanente a los cuerpos. Nadie tenía la menor noticia de lo que entendemos por masa inercial, a no ser Galileo, aunque de una forma todavía muy incipiente. Y sin embargo el problema planteado por esta Demostración al absurdo suscita nuestro interés, y lo que es más importante, nos hace confrontar nuestros conocimientos con los conocimientos de los fundadores de la Ciencia moderna.



C cae más despacio que A porque B le resta velocidad, pero al mismo tiempo, o debe caer con más velocidad que A porque es más pesado. La suposición, por consiguiente debe ser falsa.

Una de las características de la línea es su preocupación pedagógica. Cómo resolverían nuestros estudiantes el problema en sus dos versiones, pues la versión que proponemos como moderna no hace más que confirmar la aparente fuerza del argumento galileano? No podemos responder hasta que no hayamos definido con claridad qué se entiende por nivel de comprensión y cómo es posible cuantificarlo. Se trata de todas maneras de un eventual campo de investigación.

### **Análisis fenomenológico**

En toda actividad del conocimiento hay una doble intención, la directa y la refleja. En la actividad directa se aplican los conocimientos sin ninguna consideración ulterior sobre la forma como se aplican, en la consideración refleja se aplican los conocimientos y posteriormente el entendimiento intenta tomar conciencia del proceso mismo de conocimiento. Esta reflexión sobre su propia actividad es lo que generalmente se entiende por fenomenología. Sin entrar en discusiones, podemos considerar el análisis fenomenológico como una reconstrucción realizada por el científico, no por el filósofo o historiador, de la actividad científica, en la solución de un determinado problema, tomando la historia como base y orientadora de dicha reconstrucción.

Retomemos nuevamente el argumento, tal como lo presenta Galileo: Supongamos una piedra grande que cae con una velocidad de 8 grados y una piedra pequeña que cae con la velocidad de 4 grados. Si las unimos por medio de una cuerda: por una parte, la reunión de las dos caerá con una velocidad menor que 8 grados porque la menor le restará velocidad, y por otra, con una velocidad mayor, porque las dos piedras juntas dan por resultado una piedra mayor que la mayor de ellas

Desde el punto de vista filosófico, dos piedras son dos piedras y no una piedra más grande. Pero el problema no es filosófico sino físico, y cuando Galileo afirma que las dos piedras unidas por la cuerda dan por resultado una piedra más grande, lo que quiere decir es que dos piedras juntas pesan más que una de ellas por separado, una proposición que corresponde a la aditividad de los pesos, confirmada por la experimentación, y que nadie pone en duda. Habría una objeción, más aparente que real: los cuerpos no pesan, mientras caen, si por peso se entiende la presión sobre otro cuerpo, los platillos de una balanza por ejemplo. La reunión de los dos cuerpos no pesan más que el mayor de ellos, mientras están cayendo, por la simple razón de que ninguno de ellos pesa en el sentido expuesto. Galileo aprovecha la ocasión para disertar al respecto con una sencillez y claridad envidiable. Salviati acaba de exponer su argumento ad absurdum y Simplicio no sabe qué decir.

Simplicio Yo me encuentro completamente ofuscado, pues me parece que la piedra más pequeña unida a la mayor le da más peso, y no consigo explicarme cómo dándole más peso, no deba sumarle velocidad o, al menos, no disminuírsele.

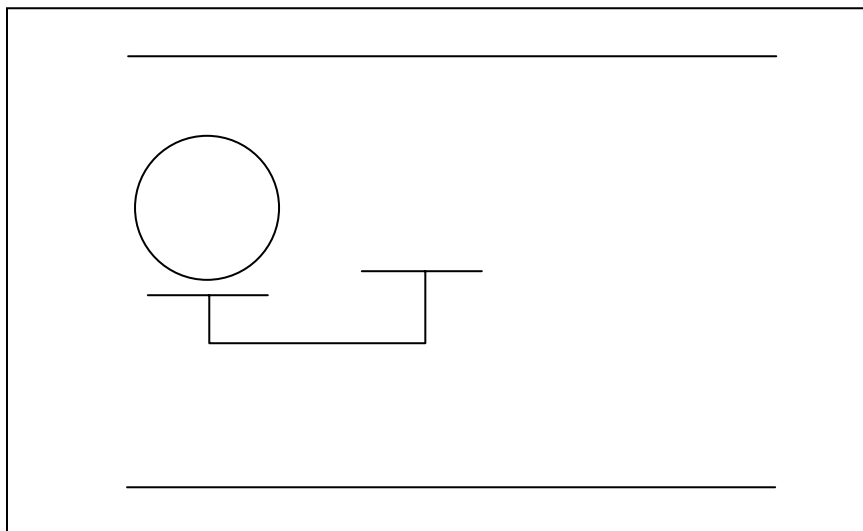
Salviati: En este punto volvéis a cometer otro error, señor Simplicio, porque no es cierto que la piedra más pequeña aumenta el peso de la mayor.



Simplicio Esto está fuera de mi alcance!

Salviati: Estará a vuestro alcance cuando os haga ver el equivoco en el que os encontráis metido.. Notad ante todo, que hay que distinguir los cuerpos graves en movimiento de los mismos en estado de reposo. Una piedra grande, colocada sobre una balanza, no solamente pesará más si se le añade otra piedra, sino que con adjuntarle sólo una brizna de estopa aumentaría su peso las ocho o diez onzas del peso de la estopa. Pero si, por el contrario, dejáis caer libremente, desde cierta altura, la piedra y, atada a ella, a la estopa, ¿creéis que el peso de la estopa, añadido al de la piedra, aceleraría el movimiento de ésta o más bien que lo que hará es disminuir su velocidad, sosteniéndola en parte? Sentimos sobre nuestras espaldas el peso de ~n objeto cuando intentamos oponernos al movimiento que se produciría si cayese, pero si somos nosotros mismos los que descendemos a la velocidad a la que caería de modo natural dicho cuerpo, ¿creéis que se nos echaría encima y sentiríamos su peso? No veis que esto sería como querer herir de una lanzada a alguien que huyera delante de nosotros a la misma velocidad o más rápido que nosotros mismos? Sacad la conclusión, por tanto, de que en la caída libre y natural, la piedra más pequeña no presiona con su peso a la mayor y, consecuentemente, no le añade peso alguno, como sería el caso en estado de reposo.

El concepto de caída libre (velocidad en la caída libre) entra en relación, cuando menos lo esperábamos, con el concepto de peso. Este ya no es, como lo suponíamos de una manera espontánea, una virtud o propiedad del cuerpo, el peso es una manifestación derivada, es la medida de la oposición al movimiento, de manera que donde no hay oposición, no hay medida. Para nosotros, hoy en día, la ausencia de peso en la caída libre no ofrece dificultad, precisamente porque ya sabemos que todos los cuerpos caen con la misma velocidad en el vacío, pero en el tiempo de Galileo las cosas no eran así, él mismo no puede suponer que los cuerpos en caída libre no pesan si no supone con anterioridad lo que está intentando demostrar. ¿Qué sucede si coloco un cuerpo sobre un resorte y lo dejo caer? ¿Se comprime el resorte? La imaginación no puede decidir, habría que hacer el experimento. Evidentemente, si ambos, el cuerpo y el resorte, caen con la misma velocidad, el resorte no se comprimirá. De todas maneras, el argumento continúa en pie, aclarando que cuando se habla del peso de los cuerpos se está haciendo referencia al peso de estos en reposo. Galileo Opta por hablar de tamaño, y así, en lugar de hablar del cuerpo más pesado, habla del cuerpo más grande, una sustitución completamente legítima si se piensa que a mayor tamaño, mayor peso, si los pesos específicos son iguales.



¿Pesados los cuerpos mientras caen? Depende. Si los cuerpos más pesados caen más rápido, entonces el más pesado presiona el menos pesado, y se detectaría un peso

La aclaración del concepto de peso es supremamente importante para la solución definitiva del problema. ¿Qué es, entonces, lo que produce el peso en los cuerpos en reposo? El ímpetu o virtud motriz del cuerpo. La fuerza motriz, diría, Juan Bautista Benedetti, predecesor y maestro intelectual de Galileo. El movimiento en la caída no se debe propiamente al peso, sino a la fuerza motriz, que suponemos proporcional al peso. Pero antes de entrar a la solución, creemos conveniente explicar la diferencia entre la historia pedagógica de las ciencias, como es el caso de la escuela de A. Koyré, y la fenomenología histórico-pedagógica de las ciencias, como es la pretensión de la línea que representamos.

### La explicación de A. Koyré

A. Koyré, en su estudio "De motu gravium" de Galileo (Estudios de Historia del pensamiento científico, siglo XXI, editores) toca tangencialmente el argumento galileano. Su interés es más histórico que físico y por esta razón se esfuerza en sugerir algunas respuestas a Simplicio, dentro del contexto aristotélico, pero en ningún momento asume personalmente el problema, saliéndose, si fuese necesario del marco puramente histórico. Aquí encontramos una diferencia con el enfoque fenomenológico que pretendemos. Nuestro interés ya no es lo que podría haber respondido Simplicio, sino lo que podríamos responder nosotros, como físicos, utilizando en parte el contexto histórico y en parte el contexto actual. Es el pensamiento físico, no el histórico, el que asume el problema planteado por la historia, y es en este sentido que hablamos de análisis o de reconstrucción fenomenológica de la historia. Transcribimos a continuación el texto de A. Koyré:

"y en cuanto al experimento de Salviati, Simplicio habría podido responder igualmente que una gavilla de paja unida a una bala de cañón sigue siendo una gavilla de paja, como la bala de cañón sigue siendo una bala de cañón. Y que si la gavilla cae lentamente cuando está sola, y la bala de cañón de prisa, es razonable, y en modo alguno contrario a la enseñanza de Aristóteles, admitir que, si se las uniera, la bala de cañón aceleraría el movimiento de la gavilla y ésta disminuiría el movimiento de la bala de cañón, aunque el peso del conjunto fuera mayor que el de los objetos que lo componen y sobre todo que el de la bala el conjunto compuesto por una gavilla de paja y una bala de cañón no es una bala de cañón más pesada. El conjunto no es un objeto natural. Además, igual que en su pretendida respuesta a Benedetti, Simplicio habría podido añadir que incluso si nos obstináramos, contrariamente al sentido común, a la razón -y a Aristóteles- en referir al conjunto lo que no vale más que para los componentes, deberíamos haber tenido en cuenta que al haber aumentado el volumen del conjunto -con relación a la bala- mucho más que su peso, la resistencia al movimiento del conjunto aumenta también mucho más que su pesantez, y que es pues completamente normal -y una vez más, conforme a la dinámica de Aristóteles- que si disminuye la proporción entre fuerza moviente y resistencia, el movimiento, es decir, su velocidad, disminuya igualmente".

El argumento que pone A. Koyré en boca de Simplicio es muy débil. Evidentemente la reunión de una gavilla de paja y de una bala de cañón no hacen una bala de cañón más pesada. Salviati podría haber contestado inmediatamente que su interlocutor olvida que tanto Aristóteles como Galileo hablan de cuerpos del mismo peso específico. Y si es así, no se ve cómo es posible que la reunión de un cuerpo de plomo de 100 libras (una bala de cañón) y otro cuerpo de plomo de 1 libra (una bala de mosquete), no den por resultado un cuerpo de plomo más pesado (una bala de cañón, por ejemplo). La velocidad de la caída no es una propiedad de la bala, sino del plomo. Una bala de cañón y una bala de

mosquete, unidas por una cuerda, no hacen una bala de cañón más grande, pero si hacen un cuerpo más pesado (en reposo), que es lo que interesa en la demostración.

En cuanto al segundo argumento: al aumentar el peso, aumenta también la resistencia y por consiguiente no se puede concluir, sin más, que la reunión de los dos cuerpos cae más rápido que el mayor de ellos, Salviati podría haber respondido con toda razón que la resistencia del medio no aumenta en el caso de los dos cuerpos unidos por una cuerda (y en este caso es A. Koyré quien hace una suposición falsa). Cuando se supone que el cuerpo mayor cae con una velocidad de 8 grados y el menor con una velocidad de 4 grados, se está incluyendo la resistencia del medio, y esta resistencia sigue siendo la misma en el caso de la reunión de los dos cuerpos (por medio de una cuerda). Otra cosa sería, si en lugar de unirlos, se fusionan en uno solo. De todas maneras, la discusión carece de interés para Galileo, pues su argumentación imaginaria se lleva a cabo en el vacío.

### **J. B. Benedetti**

¿Caen dos cuerpos iguales, unidos por una cuerda, más rápido que por separado? Galileo no es el primero que se plantea dicha pregunta, antes de él lo hizo Juan Bautista Benedetti (diversas especulaciones matemáticas y físicas), para llegar a la conclusión de que no hay ninguna razón en favor de la respuesta afirmativa. Pero si no hay ninguna razón en favor, tampoco hay ninguna razón en contra. Planteemos la pregunta de otra forma, una poco diferente: ¿no son dos cuerpos unidos por una cuerda, más pesados que uno solo de ellos, en reposo, por supuesto? Y si es así, ¿no habría que concluir, a pesar de la opinión de J. B. Benedetti, que caen más rápido? ¿Se dirá acaso que los cuerpos, juntos o separados, no pesan, mientras caen? Aquí radica precisamente el meollo del problema. Si no pesan más juntos que separados es porque caen con la misma velocidad, lo que pretendemos demostrar. Además, el argumento no se basa sobre el peso o no peso de los cuerpos mientras caen, sino sobre el peso en reposo. El presupuesto es por consiguiente: si los cuerpos que pesan más en reposo, caen más rápido, entonces se seguiría el absurdo de que un mismo cuerpo caería más rápido y menos rápido que otro. Como se explicó anteriormente, para evitar esta aparente objeción, Galileo prefiere hablar de cuerpos más grandes y más pequeños, conservando el argumento toda su fuerza. Dos caballos unidos por la brida no corren más rápido. De acuerdo, a no ser que la velocidad dependa del peso de los caballos. Dos personas cogidas de la mano no caen más rápido que una sola! De acuerdo, a no ser que la velocidad de caída dependa del peso de las personas, en reposo, por supuesto.

La discusión que estamos haciendo parece bastante trivial, no era sin duda para los contemporáneos de Galileo. Los textos de física presentan la caída libre como una simple consecuencia de la igualdad de la aceleración gravitacional para todos los cuerpos, independientemente de su peso (propriadamente, de su masa inercial). Pero, ¿cómo es posible que dos cuerpos de pesos diferentes caigan con la misma aceleración si se supone que la aceleración es proporcional al peso (fuerza motriz)? Hoy en día, conocemos la respuesta, la aceleración no es solamente proporcional al peso, sino inversamente proporcional a la masa inercial del cuerpo. La dificultad en la solución del problema que estamos analizando radica fundamentalmente en la ausencia del concepto de masa inercial. Si la fuerza motriz no es una fuerza externa sino una fuerza inmanente al cuerpo, de acuerdo con la tradición aristotélica, entonces es supremamente difícil imaginar que el mismo cuerpo sea la causa de su movimiento y de la oposición a éste. La caída libre sigue siendo para Galileo, a pesar de su aversión al aristotelismo, un

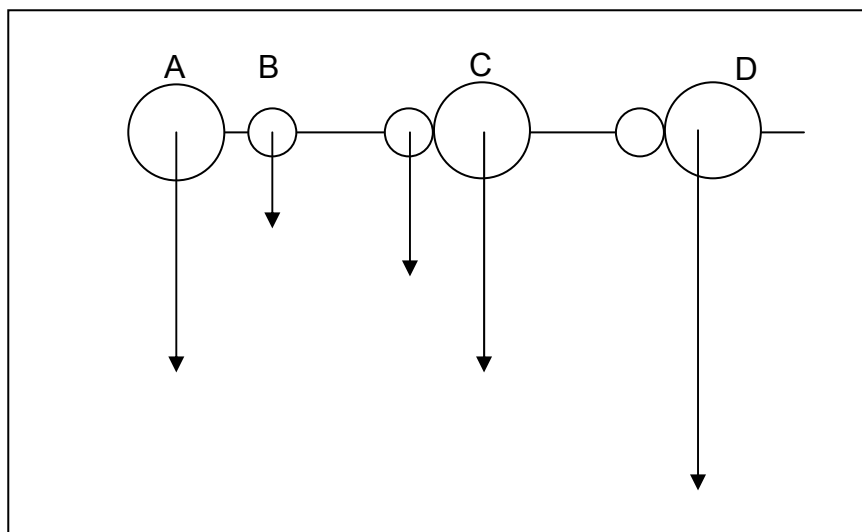
movimiento natural, no violento, y no se ve cómo en un movimiento natural puedan coexistir el ímpetu natural al movimiento y su oposición, representada por la masa inercial.

### La solución definitiva

¿En dónde está el error de Galileo?

Supongamos cuatro cuerpos, A, B, C, D. O es la reunión de A y B; D es un cuerpo que pesa en reposo lo mismo que O. Representemos las fuerzas motrices, proporcionales a los pesos, mediante flechas, como indica la figura. De acuerdo con el argumento galileano, el cuerpo O debe caer con menor velocidad que el cuerpo A, porque B le resta velocidad y el cuerpo D con mayor velocidad que A, porque es más grande (mayor fuerza motriz).

El error está en haber utilizado un mismo término con dos significados diferentes: cuando afirma que la reunión de A y de B debe caer más lentamente que A, está utilizando como modelo el cuerpo O, en donde las fuerzas motrices permanecen separadas, cuando afirma que la reunión de A y de B debe caer más rápido que A, está utilizando el modelo D, en donde las fuerzas motrices dan por resultado una fuerza mayor.



Galileo utiliza el modelo O en una parte de su demostración, luego el modelo D en la otra parte. El error lógico está en haber utilizado un mismo término con dos significados distintos.

¿Dan dos piedras unidas por una cuerda por resultado una piedra más pesada (en reposo)? La respuesta está confirmada por la experiencia y no admite dudas, sí. El origen de las dificultades está en la confusión entre peso y fuerza motriz. La fuerza motriz es la causa del peso en reposo y de la velocidad de caída y es además proporcional al peso en reposo. Todo esto lo sabían los contemporáneos de Galileo y él mismo. Aristóteles lo habría aceptado sin objeciones. Dos piedras dan por resultado una piedra más pesada, pero no, necesariamente, una piedra con mayor fuerza motriz.

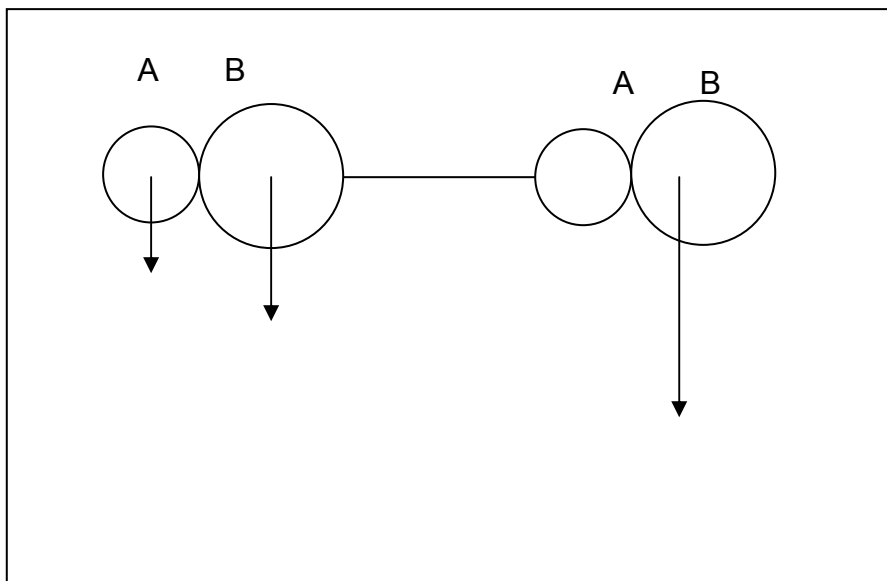
Hemos encontrado el origen del error lógico en la argumentación galileana, pero nuestro interés va más allá de lo puramente lógico. ¿Cuál de los dos casos se ajusta más a la realidad, el O (las fuerzas motrices permanecen separadas) o el D (las fuerzas motrices se suman)? La respuesta está más allá del experimento imaginario, es necesario

recurrir al experimento real. Ahora bien, ¿qué nos dice el experimento real? Que los cuerpos caen con la misma velocidad en el vacío. Si es así, Entonces los casos O y D son equivalentes, y esto no es posible si la única causa del movimiento es la fuerza motriz. Debe haber otra causa: **la inercia**.

La discusión del problema galileano nos ha llevado finalmente a una pregunta crucial, ¿se suman las fuerzas motrices o permanecen separadas? Nuestra respuesta, a 4 siglos de distancia, y en posesión del concepto de inercia, es perfectamente clara y coherente: los dos casos son completamente equivalentes. La velocidad de caída del cuerpo O es igual a la velocidad de caída del cuerpo D, pues lo que determina la velocidad de caída no es solamente la fuerza motriz sino la relación fuerza motriz-inercia, y esta relación es igual para todos los cuerpos y se denomina aceleración. Es Galileo, precisamente, el primero en formular el principio de inercia, aunque de una manera inexacta : los cuerpos tienden a conservar su estado de movimiento uniforme circular, no rectilíneo, como será la formulación definitiva de Newton.

$$\text{Si } \frac{F_A}{m_A} = \frac{F_B}{m_B} \text{ entonces:}$$

$$\frac{F_A}{m_A} = \frac{F_B}{m_B} = \frac{F_A + F_B}{m_A + m_B}$$



$$\frac{F_A}{m_A} = \frac{F_B}{m_B} = \frac{F_A + F_B}{m_A + m_B}$$

y por consiguiente, ya que las velocidades finales son proporcionales a las fuerzas motrices e inversamente proporcionales a las masas inerciales, que a su vez son proporcionales a las masas gravitacionales, la velocidad de A y de B, cada una por separado, es igual a la velocidad de los dos cuerpos juntos:

$$V_A = V_B = V_C$$

Es decir: las fuerzas motrices pueden considerarse por separado o sumadas, el resultado es el mismo.

## Epilogo

J. B. Benedetti había demostrado”, a su parecer, que los cuerpos de peso específico igual caen con la misma velocidad en el vacío, independientemente de su tamaño, y que los cuerpos de peso específico diferente caían con velocidades proporcionales a dichos pesos. Se trata de una demostración muy curiosa desde el punto de vista histórico y físico, que bien merecería una investigación fenomenológica semejante a la que hemos realizado en estas páginas. Pero Galileo va más allá, no solamente los cuerpos del mismo peso específico caen con la misma velocidad, sino todos los cuerpos, independientemente de su tamaño y peso específico. Una proposición inaudita, que coloca a Galileo dentro de los físicos más grandes de todos los tiempos. Realmente Galileo podría haber prescindido de la demostración a priori que hemos estudiado, sin embargo, no lo hizo ¿Por qué? Es difícil creer que se tratara de un simple artificio para suscitar la perplejidad de sus lectores, si se tiene en cuenta, como ya lo dijimos, que sus enemigos, además de numerosos, eran muy poderosos. Hay además otro hecho histórico, ninguno de sus contemporáneos se ocupó del argumento, posiblemente porque lo encontraron irrefutable dentro de los medios teóricos de que disponían. Nos atrevemos a pensar que Galileo estaba convencido de la legitimidad de su argumentación, aunque ésta ocupa un puesto secundario en la demostración de su hipótesis fundamental de que todos los cuerpos caen con la misma velocidad en el vacío, aunque sean de pesos específicos diferentes.

¿Por qué escogimos esta demostración y no la otra? Porque queríamos mostrar que la historia ofrece innumerables oportunidades de elaboración de conceptos. Sólo hay una condición: ir a las fuentes originales de autores científicamente relevantes.

## II. MARCO TEÓRICO DE LA LINEA

### Los conceptos no se transmiten, se elaboran

Los conceptos no se transmiten como se transmite, por ejemplo, una información. Los conceptos se elaboran, tanto por parte de quien los aprende como de quien los enseña. El aprendizaje es necesariamente un proceso de elaboración por parte del alumno o estudiante, como la enseñanza es así mismo un proceso de elaboración dirigido al alumno. Son dos procesos paralelos, pero diferentes. Evidentemente el objetivo de la enseñanza es el aprendizaje y por consiguiente son las leyes de la elaboración de los conceptos en el alumnos las que rigen el proceso de enseñanza y no al contrario. Entre elaboración y construcción hay una diferencia de matiz que es importante resaltar. La construcción hace referencia a las estructuras o esquemas generales, la elaboración, además, a la consolidación y ornato de esas estructuras.

## El estructuralismo y el conductismo

Los conceptos son sistemas de operaciones formales y estos sistemas tienen una génesis perfectamente definida a partir de los esquemas más primitivos de las acciones reflejas. Estos sistemas de operaciones tienen las características de los grupos matemático y de las clases lógicas (identidad, asociatividad, transitividad, reversibilidad, etc.). Los conceptos se construyen según determinadas leyes, este es el gran aporte de Piaget y de sus seguidores dentro de la psicología de la inteligencia. Dentro de esta perspectiva abundan los estudios estructuralistas sobre la génesis del número, sobre la formación de los conceptos de masa, peso, velocidad, tiempo, etc. Pero el constructivismo piagetiano no va más allá de la constatación de estas leyes de construcción que dependen en último término de las etapas de maduración sico-biológicas del individuo. La psicología genética se ocupa por lo tanto de la construcción espontánea de los conceptos, no de su elaboración intencional con vistas a una explicación. Se trata por tanto de dos aproximaciones diferentes y no excluyentes: La aproximación psicológica de los estructuralistas y la aproximación "fenomenológica" que proponemos en esta línea de Investigación y cuya justificación se hará a lo largo de esta exposición.

Para la escuela conductista o skinneriana el concepto no es más que una conducta o comportamiento determinado. El individuo que resuelve exitosamente problemas que suponen el concepto de aceleración, tiene dicho concepto, y este concepto se perfecciona en cada nueva solución exitosa. La elaboración interna se lleva a cabo a través de la ejecución externa de acciones apropiadas. La elaboración externa o magisterial se lleva a cabo a través de la programación de la secuencia de acciones y de sus correspondientes refuerzos. Las aproximaciones de Skinner y de Piaget son en último término aproximaciones psicológicas, desde fuera de la actividad científica como tal, y no aproximaciones interiores a dicha actividad. Evidentemente no es lo mismo resolver un problema de matemáticas que reconstruir los pasos que uno mismo ha llevado a cabo en la solución, ambas son actividades matemáticas, la primera directa y la segunda refleja.

### La aproximación fenomenológica

El término fenomenología, que nació en un contexto puramente filosófico a partir de Husserl, tiene la propiedad de expresar el carácter inmanente de cualquier aproximación. La investigación fenomenológica de los conceptos científicos debe hacerse desde dentro de la ciencia misma. En una palabra, no se trata de hacer psicología de la física, sino física de la física o lo que es lo mismo fenomenología de la física. La fenomenología es la actividad por medio de la cual el pensamiento descubre o intenta descubrir el propio proceso de razonamiento con sus aciertos, errores, suposiciones equivocadas, etc.

### Fenomenología e historia

La fenomenología es eminentemente personal, nadie puede pensar por otro, ni mucho menos reconstruir el proceso de pensamiento de otro. Sin embargo, es posible una fenomenología de la historia de las ideas científicas en la medida en que se acepte que la ciencia es producto histórico y que hacer ciencia es en gran medida apropiarse la tradición histórica. No otra cosa hace el físico cuando por ejemplo utiliza el concepto de conservación del impulso en la solución de un problema determinado. El concepto es suyo, pero el concepto es así mismo el resultado de un largo proceso histórico de elaboración que el científico toma como propio. Lo que se afirma de los conceptos físicos se afirma también de los conceptos químicos y biológicos: son elaborados históricamente y pueden ser estudiados fenomenológicamente, es decir, por el físico, químico o biólogo,

según el caso y como objetos de física, química o biología. Ambos aspectos son importantes, pues así como el psicólogo puede hablar de física, así el físico puede hablar de psicología. Nuestra línea de investigación se define entonces como una investigación fenomenológica de la elaboración de algunos conceptos científicos a partir del estudio de la historia de la disciplina en cuestión y realizada desde dentro de disciplina. En el caso del principio de conservación del impulso, la investigación debe ser realizada por un físico con conceptos físicos y tomando como base de sus reflexiones la elaboración histórica de dicho concepto. Hay por consiguiente dos elaboraciones paralelas, la histórica y la fenomenológica, la histórica permanece exterior a la física, al fin y al cabo es historia de la física, la fenomenológica entra dentro del pensamiento físico, examinando desde dicha perspectiva el contenido histórico. Históricamente el concepto de impulso nace con Descartes (el producto de masa y velocidad) como contrapuesto al principio de conservación del reposo. Dios conserva en el universo tanta cantidad de movimiento y de reposo cuanto le comunicó en el primer instante de la creación. Cuando un cuerpo mueve a otro, le comunica impulso, pero como la cantidad de impulso permanece constante en el universo hay que concluir que el impulso que recibe un cuerpo lo pierde el otro y viceversa. De aquí se siguen 7 reglas del choque, una de las cuales dice que un cuerpo más pequeño que otro (menos cantidad de materia), por pequeña que sea la diferencia y por grande que sea su velocidad no podrá mover a otro cuerpo mayor en reposo. Es el inicio de una polémica de más de 30 años, cuyos protagonistas principales son Malebranche y Leibniz y que no es nuestro propósito actual reconstruir. El principio de la conservación tiene una larga e interesantísima elaboración que no superará la aproximación histórica mientras no suscite preguntas físicas para ser resueltas por físicos, y es en este esfuerzo donde se elabora fenomenológicamente el principio de conservación del impulso. Es como si se tratara, en una primera aproximación, de hacer física con problemas antiguos, para mejor comprender nuestros conceptos actuales. En la primera parte de esta exposición dimos un ejemplo de a elaboración fenomenológica del concepto de caída libre.

### **La intención de la elaboración histórico-fenomenológica es pedagógica**

La intención de las diferentes historias de las ciencias varia de un autor a otro, sin embargo es posible mencionar cuatro intenciones bien definidas:

1. La confirmación de una teoría sobre la elaboración o construcción de los conceptos en el niño como sería el caso de las epistemologías genéticas de Piaget.
2. La elaboración del documento histórico de las ciencias, sin intenciones filosóficas o pedagógicas, como sería el caso de A Dabro en *The Rise of the New Physics* o de H. A. Klein en *The Science of Measurement* (R. Dugas, *A History of Mechanics*, etc.).
3. La reflexión sobre el fenómeno de la ciencia, bajo el supuesto de que la ciencia es un producto histórico y el conocimiento de su historia no sólo contribuye a su esclarecimiento sino que es una condición necesaria de cualquier tipo de epistemología científica. Dentro de este grupo de investigadores cabría poner a T. Kuhn (las estructuras de las revoluciones científicas, el surgimiento de lo nuevo), Eduardo Nicole (los principios de las ciencias), etc.
4. El descubrimiento de elementos pedagógicos que de alguna forma contribuyan a la enseñanza de las ciencias, como sería el caso de Koyré, Bachelard, etc.



Nuestra línea de investigación se inscribe dentro de la escuela francesa liderada por A. Koyré con acentuación del aspecto fenomenológico. G. Bachelard pretende hacer un psicoanálisis de las ideas científicas, a partir de la historia y con intenciones pedagógicas; nosotros pretendemos hacer una fenomenología, no ya de las ideas científicas en general, sino de las ideas (o conceptos) de una disciplina como la Física (Química, Biología). Mientras que el psicoanálisis busca remover los “obstáculos epistemológicos”, la fenomenología busca reconstruir los procesos ocultos que llevan a la construcción de los conceptos. M. de Foucault prefiere hablar de arqueología, en donde la preocupación no son los obstáculos, ni la elaboración de los conceptos, sino los estratos sobre los cuales se construyen las ciencias.

## Requisitos

Los conceptos científicos, como productos que son, pueden ser objeto de investigación desde multitud de perspectivas, como, por ejemplo, la de la psicología de la inteligencia o la de la inteligencia artificial. Nuestra perspectiva es exclusivamente científica. El principio de conservación de la masa puede ser estudiado por un psicólogo de la inteligencia, como de hecho lo hizo Piaget, o un historiador de las ciencias, como Dugas, o por un físico. Cuando decimos que nuestra perspectiva es primordialmente científica estamos escogiendo la última alternativa, la del físico, la del biólogo o la del químico, según el caso. Por esta razón el requisito, sine qua non, de la línea es el conocimiento profesional de una de las tres áreas que hemos mencionado.

## Metodología

La metodología tiene inicialmente los siguientes pasos

### 1. *Definición del problema*

La investigación se debe llevar a cabo alrededor de uno o varios problemas claramente definidos. No se admiten formulaciones generales, como. Desarrollo histórico del concepto de calor o equivalentes.

### 2. *Lectura actual*

Una vez que se ha planteado el problema se intenta resolver con todos los medios disponibles que proporciona la ciencia o ciencias implicadas. Dentro de este marco teórico actual se debe mover la interpretación fenomenológica, en una especie de interacción entre lo viejo y lo nuevo.

### 3. *Lectura histórica*

Después de la lectura actual del problema se pasa a la lectura histórica del mismo. Para el efecto se recoge toda la información histórica posible, procurando acudir a las fuentes.

### 4. *Reconstrucción fenomenológica*

El investigador debe moverse continuamente dentro de las dos lecturas mencionadas. Un ejercicio que no es fácil, pero que constituye el aspecto original de la línea en comparación con otras aproximaciones históricas semejantes. En este proceso de interacción dialéctica entre la historia y la ciencia, la ciencia ocupa el primer lugar. El oficio del investigador no es el de un historiador que hace ciencia, sino de un científico que hace historia, con la posibilidad siempre presente de salirse del contexto histórico para disertar sobre las implicaciones científicas del problema que está estudiando.

## BIBLIOGRAFIA

### 1. Las fuentes

Todos los científicos que han aportado algo al desarrollo de las ciencias son objeto posible de consulta. Más aún, la bibliografía fundamental, como se explicó con anterioridad está constituida por las fuentes en cada una de las áreas elegidas, física, química o biología

### 2. Historiadores

BACHELARD G. Etude sur Levolution dun probleme de Physique, Vrin. Paris, 1973.

CROSLAND M. P. Historical Studies in the Language of Chemistry, 1978.

DABRO A. The evolution of Scientific Thought, Dover, N.Y., 1950.

D'ABRO A. The Rise of the New Physics, Dover, N.Y., 1951.

DUGAS R. A History of Mechanics, Dover, N.Y., 1988.

DUHEM P. To save the Phenomena, The University of Chicago Press, 1969.

HEITLER W., The Quantum Theory of Radiation, Dover Publications, N.Y., 1954.

JAFFE B., Crucibles: The story of Chemistry, Dover Publications, N.Y., 1976.

KLEIN A. The Science of Measurement, Dover, N.Y., 1974.

KLEINER A. Physik im 19. Jahrhundert, Darmstadt, 1980.

KOYRE A. Estudios de Historia del Pensamiento Científico, siglo XXI editores, 1978.

KOYRE A. La revolution astronomique, Histoire de la Pensée III, Hermann, 1965

KOYRC A. Newtonian Studies, The university of Chicago Press, 1965.

WHITTAKER SE. A History of the Theories of Aether and Electricity, Dover, N.Y., 1989.

**Línea de Investigación,****1****La relación entre conocimiento común y conocimiento científico en el contexto de la enseñanza, aprendizaje y cambio conceptual de las ciencias****Alfonso Claret Zambrano Ph. D.****Abstract**

*This paper analyses the research approach on the relationship between scientific scholar knowledge of the teacher and common previous knowledge of students in school within the context of teaching, learning and conceptual change in sciences. The paper shows two sections: the first is about conceptual historical development of the research question. In this sense the first question was How the students learn sciences and its transformation into the second, third, fourth and fifth question was justified on the light of the reading of the following works, mainly: Piaget, A usubel, Driver, Vygotsky, and Bachelard, Canguilhem, Kuhn, Lakatos, Popper and others authors. The second explains the research question taking into consideration the meaning of the teacher, the pupil and the scientific knowledge in the classroom. For this purpose it is necessary to design a conceptual structure in order to analyze the relations, the concepts and the research problems of the teaching, learning and assessment in sciences. The structure shows the relationship of the teacher and the pupils knowledge relationship. This is the cause why scientific knowledge must be considered as the hard core of the science teaching. But scientific knowledge in this case is seen as a product of the its historical and epistemological development and the way as scientific knowledge changes in science is the basis for thinking about conceptual change of students in the classroom. The paper ends showing the aims of the researcher engaged in this approach.*

**1.1 Antecedentes**

La educación en ciencias naturales es un campo en proceso de construcción. El origen de este campo data desde 1986 y su consolidación como campo de trabajo investigativo con problemas propios se hizo en 1988, con la realización de su segunda conferencia en Berkeley, School of Education, University of California.

Su punto de convergencia es la síntesis del trabajo de investigadores de Educación en Ciencias, investigadores en el campo de la cognición, la informática (especialmente aquellos que trabajan con el computador como elemento para diseñar como resuelven los alumnos problemas en ciencias, etc), los epistemólogos, los curriculistas y los educadores en ciencias.

La educación en ciencias, como área de investigación tiene acuerdo en ciertos problemas macros que orientan el trabajo investigativo y sirven de referencia al origen de esta nueva disciplina. Tales problemas, se ubican en cinco grandes líneas de investigación. La primera se orienta a solucionar los asuntos de la enseñanza de las disciplinas científicas y los estudios curriculares de las mismas. La investigación basada en las disciplinas y su desarrollo fue la actividad principal del campo educativo en

Ciencias durante el período de reforma curricular de los años 50 y 60 (en Norteamérica y Europa) y aún continúa jugando un papel relevante en la actualidad.

Una segunda línea se refiere al trabajo de la ciencia cognitiva, cuyo campo, también en proceso de desarrollo, reúne elementos de la inteligencia artificial, psicología cognitiva, lingüística, filosofía y otras disciplinas. Su campo de investigación relacionado con educación en ciencias converge en los principios generales del aprendizaje, el conocimiento y el razonamiento. Desde los años 70, este campo tiende a trabajar problemas comunes con educación en ciencias, tales como solución de problemas, conocimiento y aprendizaje de contenidos específicos de asignaturas. Actualmente hay un evidente intercambio de teoría y métodos empíricos en ambas disciplinas.

Una tercera línea está relacionada con el contexto social en el cual se desarrolla la enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales, un tópico cuya importancia es cada día mayor. Investigaciones acerca de la organización social de las escuelas, incluyendo actitudes socialmente determinadas hacia la escolarización y la participación en actividades de grupos, se benefician intensamente de los métodos y conceptos de las ciencias sociales y su ubicación con otras disciplinas de las ciencias naturales

Una cuarta línea analiza la tecnología educativa en las ciencias. Esta línea se refiere principalmente a la tecnología informativa producida por los computadores, videos, discos, telemática, gráficas, etc.

Finalmente existe una quinta línea cuyo interés de fondo es, investigar la relación entre el conocimiento común y el conocimiento escolar, como también entre razonamiento cotidiano y aprendizaje escolar. En este caso su tarea de fondo es resolver y construir modelos que expliquen e interpreten racionalmente el problema de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Esta línea de investigación que presentamos, se ubica en esta perspectiva.

## 1.2 Justificación

El objeto de esta línea de investigación es estudiar el mecanismo de la relación entre conocimiento común del alumno y conocimiento científico del maestro, en la enseñanza, aprendizaje y cambio conceptual de las ciencias a partir de la historia y epistemología de varios conceptos científicos que luego serán abordados desde una pedagogía constructivista basada en Vygotsky para su análisis. En este sentido se espera conocer como los alumnos de primaria, secundaria y universidad, de una localidad determinada, estructuran los contenidos y procesos de algunos de los conceptos de las ciencias naturales

Hay pocas referencias en el país de este tipo de investigación. Algunos autores han venido haciendo trabajos en esta área, pero limitándose al movimiento de concepciones alternativas. Otros como Segura (1991) han trabajado con la denominadas Actividades Totalidad abiertas (ATAS) buscando a través de las mismas la articulación entre el conocimiento previo del alumno y el conocimiento que se construye, así como el nexo entre el contenido del ATA y el desarrollo intelectual del alumno, además de la pertinencia de la actividad como medio de solucionar problemas de ciencias.

En Europa y Norteamérica existen va-ríos ejemplos, sin embargo, cierto número de ellos se ha limitado a identificar los pre-conceptos de los jóvenes sin avanzar más allá del

simple diagnóstico. Algunos autores argumentan que el cambio de novato (o inexperto, esto es alumnos en proceso de formación educativa de pregrado) a experto envuelve la misma clase de cambio conceptual que sucede en la historia de las ciencias. Wiser (1983), por ejemplo, planteó dos propósitos como guía para su investigación; ambos se referían a las relaciones entre la teoría de la historia de las ciencias y la ontogénesis. El primero, trata del papel de la diferenciación como descripción de desarrollo en la historia de las ciencias y en ontogénesis (desarrollo del individuo). Wiser trató la diferenciación a través de un modelo histórico. En este caso ella tomó un modelo construido por científicos del siglo XVII, que no diferenciaba calor de temperatura, y lo usó para analizar si estudiantes inexpertos tenían un concepto similar. Su fin era ir más allá del diagnóstico y especificar a continuación la naturaleza del concepto de indiferenciación, sus características y relaciones a otros conceptos. El segundo era determinar si el contenido y estructura del modelo termal de los inexpertos era similar al modelo termal (recipiente-fuente) de los científicos aludidos. En ambos casos la respuesta fue positiva. Esto sugiere que el modelo de diferenciación de la historia de la ciencia es confirmado por el desarrollo de la ontogénesis. Wiser concluye una convergencia a nivel estructural pero no a nivel de contenido

Otros, a diferencia del autor anterior, han planteando que el contenido de la ciencia de los inexpertos es similar al contenido de la ciencia practicada en el pasado. Por ejemplo Disessa (1982) argumenta que la física del inexperto con relación a las leyes de Newton es aristotélica en el sentido de que los objetos se deben mover en la dirección que últimamente son empujados.

Estas tendencias de investigación inexperto-experto en solución de problemas y procesos de información brevemente se caracterizan por dos interpretaciones con valor educativo: La primera considera que el inexperto al solucionar problemas de ciencias muestra equivocaciones sistemáticas, a menudo interpretadas como falsas creencias. Lo crucial de esta asunción es considerar que el concepto del experto y el concepto del inexperto son lo mismo. El argumento de que el inexperto tiene una falsa creencia acerca del calor presupone que ambos experto e inexperto tienen el mismo concepto de calor (el del experto), incluyendo propiedades diferentes y relacionándolos con otros conceptos en forma distinta. Por ejemplo, Caramazza (1981) argumenta que estudiantes solucionando problemas simples acerca de la trayectoria de la calda de los cuerpos revelan una variedad de equivocaciones. Sin embargo las respuestas relacionan el contenido de la física del alumno inexperto a la física desarrollada de la época previa a Galileo. La persistencia histórica de estas ideas revelan que ellas son un producto de la vida cotidiana del niño.

La segunda considera que expertos e inexpertos difieren acerca de los procedimientos para solucionar problemas en ciencias y en proceso de información. La crucial asunción detrás de esta asunción es reconocer que el inexperto tiene su propia versión del problema, es decir, su propio concepto que no necesariamente es una versión degenerada del concepto del experto. Conocer su estructura, teoría, reglas y conceptos sería fundamental para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Para Strauss(1988), la naturaleza e interpretación del debate inexperto-experto significa en el campo de la temática general del desarrollo dos posibilidades: la primera explorar el paralelo o convergencia entre el desarrollo de la anta-génesis, el desarrollo de la filogénesis y el desarrollo histórico de las ciencias. El segundo es acerca de cómo el desarrollo de la ontogénesis, filogéneis e historia de las ciencias pueden servir de heurística entre cada uno de ellos. Esta última dirección es la que orienta esta línea de

investigación. Paralelo, significa secuencias de desarrollo longitudinal. Por ejemplo para un concepto histórico, H, se necesitan dos puntos de una secuencia H1 y luego H2. Para un concepto ontogenético se necesitan dos puntos en una secuencia, O1 y luego O2. Por definición de similaridad entre H1 y O1 y luego entre H2 y O2 podemos argumentar un desarrollo paralelo entre el desarrollo histórico y el desarrollo ontogenético. Convergencia atañe a similitudes entre H1 y O1 independientemente de su posterior desarrollo. Posner en E.U. hace una aproximación desde la Filosofía de las ciencias para crear un teoría de cambio conceptual basada en Lakatos y Kuhn.

### 1.3 El problema objeto de investigación: ¿cómo aprende el alumno en la escuela?

El problema objeto de investigación en ésta línea tiene su propia evolución conceptual. Tal proceso implica conocer cual fue el primer problema objeto de reflexión y luego bajo que criterios teóricos se fue transformando en diversas alternativas hasta llegar al actual problema de investigación acerca de la relación entre el conocimiento común y el conocimiento científico. Para empezar, el primer interrogante del problema de investigación fue: ¿cómo aprende el alumno en la escuela? La forma como concebimos este problema se deriva de la historia epistemológica de las ciencias y no de la pedagogía. Al respecto Bachelard, filósofo francés, decía hace algunos años: Los profesores de ciencias se imaginan que el espíritu comienza como una lección, que siempre puede rehacerse una cultura perezosa repitiendo una clase, que puede hacerse comprender una demostración repitiéndola punto por punto. No han reflexionado sobre el hecho de que el adolescente llega al curso de Física con conocimientos empíricos ya constituidos; no se trata, pues, de adquirir una cultura experimental, sino de cambiar una cultura experimental, de derribar los obstáculos amontonados por la vida cotidiana.” (Bachelard, 1975, p. 21).

El maestro no recibe un estudiante “vacío” para llenarlo con conocimiento empírico estructurado. Por el contrario él encuentra estudiantes con opiniones, con una ideología que ellos han adquirido y que los acompañará durante el desarrollo de sus vidas y a la cual ellos deben adaptarse con el fin de cumplir con las normas de una sociedad pero sin cuestionarse la razón de las mismas. Estas asunciones fueron objeto de reflexión y constituyen la razón de las siguientes preguntas: Si algunos puntos de vista suponen que los maestros enseñan a alguien que no sabe nada, porque Bachelard contradice la asunción del estudiante “vacío” ¿Consecuentemente como el estudiante aprende en la escuela? ¿Y cómo los maestros enseñan? Teniendo en cuenta las anteriores asunciones y preguntas la literatura fue revisada. Específicamente el trabajo de Piaget fue analizado con el objeto de ver que luz arrojaba en este asunto. Se obtuvo la siguiente conclusión.

Piaget (1972) estaba interesado en la Epistemología Genética y no en preguntas pedagógicas. El punto nodal del trabajo Piagetiano fue la construcción del pensamiento científico racional y la investigación psicológica en las operaciones mentales. Su pregunta central de investigación fue: ¿Cómo se pasa de un conocimiento correspondiente a cierta etapa del desarrollo a un conocimiento correspondiente a la siguiente etapa de dicho desarrollo? Esta pregunta no define a Piaget como maestro pero lo asocia con la Pedagogía. La respuesta de Piaget es completamente válida en el campo del desarrollo cognitivo del niño, pero no es posible un simple y puro traslado de la psicología a la Pedagogía sin previa elaboración teórica.

El punto central para esta pregunta fundamental acerca de cómo uno va de una etapa del desarrollo del conocimiento a la siguiente, es la proposición teórica de que la gente

crea su propio conocimiento a través de sus propias acciones y la coordinación de esas acciones. Además, Piaget (1975) asume que el conocimiento es genético. En este sentido se lo considera como un proceso de desarrollo de tal manera que podemos estudiar su formación y progreso desde conceptos menores los cuales se vuelven parte de sistemas más y más elaborados. Por ejemplo saber que  $2 + 2 = 4$  puede ser interpretado como una etapa genética porque no todos los sujetos poseen este conocimiento y puede ser estudiado con base en conceptos previas y por consiguiente ser objeto de desarrollo posterior.

Piaget (1964) diferencia entre desarrollo del conocimiento y aprendizaje. El primero es un proceso espontáneo atado al proceso total de embriogénesis incluyendo el cuerpo, el sistema nervioso y el desarrollo de las funciones mentales; el último es un proceso provocado por el sicólogo experimentador o el maestro. En ambos casos sin embargo hay un solo actor: la mente del niño construyendo por él mismo su propio conocimiento. En este sentido el aprendizaje es un caso particular del desarrollo del conocimiento; esto es, el desarrollo explica el aprendizaje. Como consecuencia de esta posición, el niño o niña solamente adquiere el conocimiento determinado por su propio desarrollo. Por consiguiente el aprendizaje es posible solamente cuando el niño tiene las competencias para lograrlo. Es decir, el mismo sólo es posible en el contexto del desarrollo del conocimiento propio del niño.

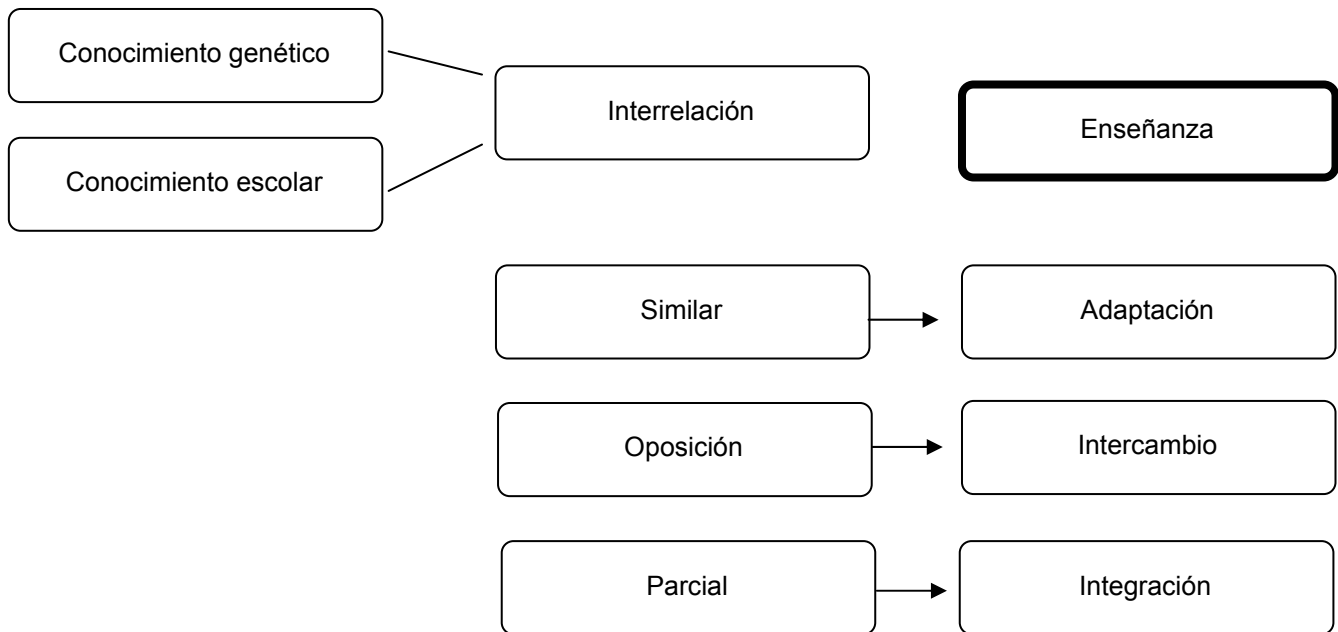
En otras palabras, el niño aprende cuando adquiere conocimiento actuando sobre los objetos y transformándolos: esto es, desplaza, une, combina, separa y reconstruye los mismos. Desde esta perspectiva la pregunta, ¿cómo el niño aprende? no tiene sentido y debe ser cambiada por una **segunda pregunta de investigación**: ¿cómo el alumno adquiere conocimiento en la escuela? Con esta nueva pregunta se relevó a Piaget y se encontró lo siguiente:

“Para entender el desarrollo del conocimiento es necesario comenzar con una idea central para mí. La idea de operación. Una operación es la esencia del conocimiento, es una operación interiorizada la cual modifica el objeto de conocimiento. Pero en adición, es una acción reversible: la cual puede tomar lugar en ambas direcciones. por ejemplo añadir o substraer, juntar o separar. Pero sobre todo una operación nunca es aislada. Esta siempre articulada a otras operaciones y como resultado es siempre parte de una estructura total.. .Y el problema central de desarrollo es entender la formación, elaboración, organización y funcionamiento de esas estructuras” (Piaget, 1964, p. 176).

De acuerdo con Piaget, esas estructuras tienen cuatro etapas de desarrollo: la primera es la sensorio-motor, etapa preverbal que dura aproximadamente los primeros veinticuatro meses de vida; la segunda es la etapa pre-operacional; la tercera etapa es la concreto - operacional y la etapa final es la operacional formal o hipotética deductiva. Con base en lo anterior la segunda pregunta: ¿cómo el niño adquiere conocimiento en la escuela? Debe ser cambiada a una **tercera pregunta de investigación**: ¿cómo el alumno va de una etapa de conocimiento de cierta fase de desarrollo a la siguiente etapa de conocimiento correspondiente a la siguiente fase de desarrollo en la escuela? (El caso de esta línea de investigación).

Sabemos que el trabajo de Piaget estaba interesado en la epistemología genética o desarrollo cognitivo y muy poco en la educación o en la escuela. Por esta razón es legítimo diferenciar entre desarrollo cognitivo a conocimiento genético y conocimiento escolar el cual es el objeto del aprendizaje escolar. Pero el conocimiento escolar es altamente específico como puede verse en las asignaturas académicas tradicionales, tales como, matemáticas, química, física, biología, etc. Sin embargo nuestro interés es

conocer cómo el alumno construye dicho conocimiento en la escuela. Por otro lado nos referimos también al modo tradicional como los maestros escriben syllabus centrados en el contenido formal de la asignatura siguiendo preferiblemente una secuencia basada en la lógica de las ciencias que en las propias construcciones de los alumnos en esas materias. Como resultado hay poca indicación de cómo el alumno progresivamente construye esas asignaturas. Por esa razón es necesario tener una idea completa acerca de cómo el alumno construye esos campos específicos del conocimiento si queremos resolver las diferentes relaciones entre conocimiento genético y conocimiento escolar.



**Figura 2.** Las diferentes alternativas para enseñar como consecuencia de la interrelación entre conocimiento genético y conocimiento escolar.

El propósito teórico y práctico de analizar los procedimientos usados por los alumnos para elaborar y construir el conocimiento escolar usando como base su conocimiento genético o desarrollo cognitivo, es un intento para delinear el papel del conocimiento genético en la apropiación del conocimiento escolar, por lo anterior la tercera pregunta de investigación se cambia por la **cuarta pregunta de investigación** fue elaborada así: ¿cómo el alumno obtiene conocimiento escolar o científico teniendo como base su conocimiento genético o conocimiento espontáneo previamente adquirido?

La figura 2 ilustra esta pregunta, si la interrelación entre el contenido del conocimiento genético y el contenido del conocimiento escolar es similar, el proceso de enseñanza es de adaptación entre ambos conocimientos. Si la interrelación es de oposición entonces el proceso de enseñanza es de intercambio del conocimiento equivocado por el conocimiento correcto. Si la interrelación es parcial entonces el proceso de enseñanza es de integración entre ambos conocimientos.

En términos de Piaget, la cuarta pregunta de investigación podría expresarse en el siguiente problema: Cómo es la relación entre el conocimiento genético o conocimiento



espontánea adquirido por el alumno y el conocimiento escolar enseñado por el maestro en el contexto de la enseñanza, aprendizaje y cambio conceptual de las ciencias? Para avanzar en el análisis conceptual de este cuarto problema de investigación es necesario ampliar el significado del conocimiento espontáneo y el conocimiento escolar en el aula de clases

### **1.3.1 El conocimiento espontáneo y el conocimiento escolar en el aula**

Inicialmente es necesaria aclarar que cuando nos referimos a frases como “conocimiento escolar” y “conocimiento espontáneo” estamos usando la diferencia establecida por Popper(1967) entre Mundo 2 y Mundo 3 Según Popper, Mundo 2 significa el mundo de nuestra experiencia consciente. Basado en esta apreciación concebimos que el alumno al llegar a la escuela trae sus propias ideas de ciencias (es decir, el conocimiento espontáneo) las cuales interrelacionan con el conocimiento escolar previo y sus concepciones sobre el mundo en general, integrándose en lo que hemos denominado, la estructura conceptual del alumno, la cual se materializa en el aula, como, el **conocimiento común previo** de los alumnos. En términos de Popper, Mundo 3 es el mundo del contenido lógico de libros, librerías, computadores. Con base en lo anterior concebimos que el Mundo 3 de Popper genera el conocimiento pública de las ciencias o el conocimiento científico, contenido en libros, revistas de investigación, textos de carácter científico y pedagógico, documentos, archivos, abstracts, y otros reconocidos por la comunidad científica nacional e internacional, el cual al ser apropiado pedagógicamente por el maestro (es decir, el conocimiento escolar) con el propósito de enseñar lo elabora de acuerdo a su formación curricular en ciencias, sus propias concepciones sobre ciencias, enseñanza y aprendizaje y su ejercicio teórico y práctico de las ciencias derivado de su pertenencia a instituciones educativas, integrándose en lo que hemos denominado, estructura conceptual del maestro, la cual se materializa en el aula, como el **conocimiento científico escolar**. Por las razones anteriores el problema a investigar en esta línea de investigación se cambia de la cuarta pregunta a una **quinta pregunta**: ¿cómo es la relación entre el conocimiento común previo del alumno y el conocimiento científico escolar del maestro en el contexto de la enseñanza, aprendizaje y cambio conceptual de las ciencias?

Pero la pregunta anterior exige explicar el significado y las relaciones entre los elementos involucrados en la misma, para determinar la estructura conceptual que enmarca el objeto de investigación en el aula y los problemas que se originan a partir de esta consideración. (Ver Figura 4).

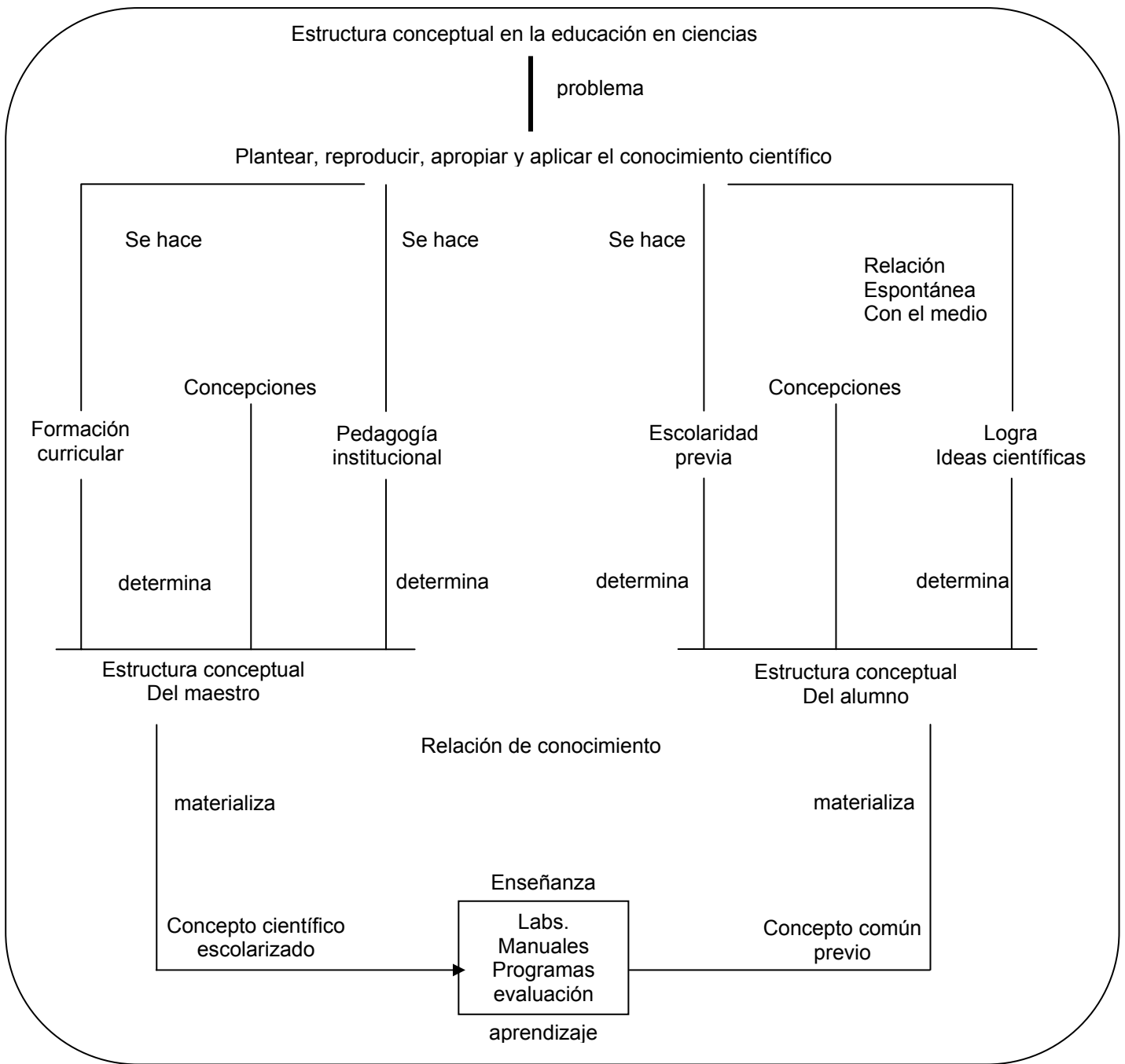
## **1.4 La estructura conceptual y los problemas fundamentales a investigar en la relación entre conocimiento común previo y el conocimiento científico escolar en el aula de clases**

La relación pedagógica fundamental entre el maestro, sujeto de la enseñanza y el alumna objeto del aprendizaje, es la problemática del planteamiento, la re-producción, apropiación y aplicación del conocimiento científico. Esta racionalidad es clave para entender la epistemología de la enseñanza, aprendizaje y evaluación de las ciencias.

Por esa razón el problema de la enseñanza-aprendizaje-evaluación sala se puede entender tomando como referencia conceptual el conocimiento científico en la escuela.

Tal conocimiento esta dado por los contenidos científicos de la práctica científica; la estructura conceptual del maestra, que comprende los contenidos científicos apropiados pedagógicamente por el maestra con el propósito de enseñar; la estructura conceptual del alumno, que comprende las contenidos científicos previas apropiadas espontáneamente por el alumna; la secuencia de conocimientos científicos para la enseñanza aprendizaje; el esquema del proceso enseñanza-aprendizaje y evaluación. La anterior implica que para la enseñanza-aprendizaje-evaluación de los conceptos es necesario investigar varios problemas.

**1.4.1** Conocer la estructura conceptual del maestro sobre los conceptos científicos (o conocimiento científico) de la práctica científica. En este sentido el maestro(a) lo reconocemos como el sujeto de la enseñanza, y lo asumimos con base en su **estructura conceptual**, tal cama se definió en la sección 1.3.1 y la cual pedagógicamente se materializa en el **conocimiento científico escolarizado** para asumir la enseñanza, aprendizaje y evaluación de las ciencias en el aula de clases. Es decir, reconocemos que hay una epistemología coherente entre la que el maestra **piensa** que es su estructura conceptual sobre las ciencias en el orden científico y pedagógica y la forma como **actúa** en el aula. Así, si epistemológicamente concibe la existencia de la ciencia cama resultado o abstracción o esencia de las distintas prácticas científicas y por consiguiente válidas para cada una de ellas; entonces concibe y práctica la enseñanza en forma similar para la física, la historia o las matemáticas. Esto significa, que desconoce, que existen **las ciencias** y no **la ciencia** en singular, las cuales son diferenciadas, tienen un desarrolla desigual, y por consiguiente tienen una pedagogía particular.



**Figura 4.** Estructura conceptual de la enseñanza, aprendizaje y evaluación de las ciencias

Por otro lado si se considera que las ciencias son objetivas, neutras y precisas en sus resultados lleva a darle a la enseñanza un carácter dogmático, acabado y cerrado y a concebir la misma únicamente como un asunto de resultados, haciendo a un lado el proceso que los produjo.

Usualmente para algunos científicos y maestros es difícil comprender el valor pedagógico de la enseñanza de un concepto de las ciencias en el marco de todas las relaciones sociales, económicas, políticas, históricas, ideológicas que coexisten en el

origen del mismo, porque conciben que únicamente los resultados de las ciencias tienen validez absoluta para la misma y que las otras relaciones solo son obstáculos para su enseñanza y apropiación. En tal sentido plantean la neutralidad de las ciencias, cuando precisamente un concepto científico se forma se rectifica y progresa en el contexto de un haz de relaciones semejantes.

Si por el contrario epistemológicamente se conciben las ciencias como un conjunto de relaciones históricamente determinadas de conceptos sistematizados en un campo conceptual donde teórica y metodológicamente abordan en aproximaciones sucesivas, cada vez más objetivas la explicación racional de un sector de la realidad, se comprende porque la pedagogía de una ciencia en particular, según esta concepción tiene que empezar por conocer su propia práctica científica, y no la ciencia en general. Nos obliga a remitirnos a la historia y explicación de los conceptos de cada ciencia y además nos lleva a expresar los mismos como razón y como experiencia, como teoría y como hecho. Por tal razón un concepto, debe participar de la conceptualización teórica y su correspondiente aplicación práctica en una continua relación.

Con base en lo anterior es problema fundamental para la enseñanza de las ciencias conocer acerca de las concepciones del maestro por el carácter determinante que juegan en su teoría y práctica educativa en la escuela y en la aplicación de su conocimiento escolarizado en el aula.

**1.4.2** Identificar la correspondiente estructura conceptual del alumno sobre los conceptos científicos (conocimiento científico) de la práctica científica. El alumno (a) lo reconocemos como el sujeto del aprendizaje y lo asumimos con base en su estructura conceptual, tal como la definimos en la sección 1.3.1 y la cual se materializa en **el conocimiento común previo**, que necesariamente van a interferir en forma positiva o negativa con la enseñanza en la escuela. La apreciación de este hecho no es nueva<sup>1</sup>. Pero un nuevo desarrollo de esta apreciación es el esfuerzo sistemático de aplicar **el conocimiento común previo** de los alumnos a la enseñanza, aprendizaje y evaluación de las ciencias naturales en la escuela

Varios problemas se identifican en este contexto. **A.** Un primer problema tiene relación con la diversidad de la terminología asignada a las ideas de los alumnos sobre el mundo socio natural asumiendo que cualquiera sean los términos que se usen tienen igual significado y por consiguiente son equivalentes. Pero en el fondo lo que se está haciendo es eludir el marco teórico y los conceptos relevantes que se derivan de los principios conceptuales que se están aplicando. Términos como concepciones erróneas (misconceptions en Helm, 1980), preconcepciones (preconceptions en Ausubel, 1968), ciencias de los niños (children's science en Gilbert, Osborne y Fesham, 1982) marcos alternativos (alternative frameworks en Driver, 1981), razonamiento espontáneo (spontaneous reasoning en Vienot, 1979), representaciones (representations en Giordan, 1978), preteorías (Segura, 1981), etc. muestran la dificultad de pensar un nombre común para todos los hallazgos investigativos en este asunto expresando en el trasfondo compromisos teóricos y prácticos que indican la posición filosófica que subyace en el uso de ciertos términos y no otros.

**B.** Un segundo problema, se refiere a reducir la investigación de los conceptos previos de los alumnos al simple diagnóstico, limitando sus resultados, únicamente, al proceso de su identificación, estudio y caracterización. Tales estudios fueran frecuentes durante la

<sup>1</sup> Vico en 1710 consideraba que el criterio y regla de lo verdadero es haberlo hecho.

década del setenta. Driver (1978) por ejemplo asume dos interpretaciones para los conceptos previos de los alumnos. En la primera, los compara con las ideas aceptadas de las ciencias y los califica por su congruencia con las mismas. A este grupo también pertenecen los términos: preconcepciones (Ausubel, 1968), teorías noveles (McCloskey, 1983), concepciones erradas, etc. definidas por algunos investigadores de la enseñanza de las ciencias para mostrar las diferencias entre los conceptos propios de los alumnos, asumidos como un conocimiento equivocado y los conceptos científicos asumidos como un conocimiento correcto (Helm, 1980). De acuerdo con esta interpretación, los conceptos previos de los alumnos son sorprendentemente tenaces y resistentes a la extinción. En contraste con la primera interpretación, la segunda se refiere fundamentalmente a las comprensiones propias de los alumnos en las cuales sus propias conceptualizaciones son exploradas y analizadas en sus propios términos sin ninguna evaluación contra un sistema externo definido. En esta segunda interpretación se aceptan los conceptos previos de los niños tal como ellos son, sin hacer ningún juicio comparativo con las ideas de las ciencias. A este grupo pertenecen términos tales como: marcos alternativos (Driver, 1981), ciencia de los niños (Gilbert, 1982), etc.

Una interpretación alternativa a las dos anteriores considera que lo importante no es comparar los conceptos previos de los alumnos ni reconocer su singularidad, sino usarlos mismos en el proceso enseñanza aprendizaje de las ciencias. Esta alternativa constituye una fuente rica de investigaciones apoyadas por los planteamientos de Ausubel, Driver y Vygotsky (Zambrano, 1996).

**C.** Un tercer problema es planteado por Ogbarn (1975) quien critica el problema anterior y propone como alternativa buscar teorías sobre el contenido de los conceptos previos de los alumnos.

El mismo construyó una teoría sobre dinámica para explicar algunas concepciones que tenían los alumnos en algunas situaciones en las cuales concebían la fuerza del movimiento actuando en un objeto móvil, pero en otras ocasiones pensaban las fuerzas como la acción de un objeto sobre otro. Su teoría trata de explicar por qué surgen estas concepciones particulares y no otras. Su primera etapa fue proponer una versión de la teoría del movimiento de donde se derivan esas concepciones. Esa teoría incluía términos como: apoyo, caída, lugar y camino y reglas de procedimiento. Por ejemplo los cuerpos pesados y a mayor altura caen más rápido. Construir las teorías de los distintos dominios de las ciencias trae enormes ventajas para la investigación del aprendizaje en esta área. Viennot (1979) siguiendo esta dirección construye un modelo de cómo el alumno razona problemas de mecánica newtoniana.

**D.** Un último problema analiza la efectividad del cambio conceptual en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Hewson, 1985, Strauss, 1987). Aquí es necesario aclarar las relaciones y diferencia entre aprendizaje y cambio conceptual. El aprendizaje se asume como el resultado de articular el proceso teórico-práctico del conocimiento común del alumno y el conocimiento científico del maestro. Dado que el propósito final del aprendizaje es cambiar los conceptos propios de los alumnos por los conceptos científicos de las ciencias, es necesario tomar como punto de referencia de este proceso el cambio conceptual en historia y epistemología de las ciencias. En este sentido asumimos que el estudio del cambio conceptual en la historia de las ciencias puede iluminar la comprensión del maestro sobre el aprendizaje de los conceptos de las ciencias en la escuela. Esta suposición considera varios puntos. Primero, ambas actividades son racionales. Tanto los científicos como los alumnos están envueltos en la misma clase de actividad: solucionar problemas usando ciertos conceptos previos para transformar su conocimiento actual.

Segundo, ambos procesos tienen una meta idéntica: adquirir conocimiento objetivo. En ambos casos la objetividad del conocimiento requiere una ruptura con el conocimiento común. Desde este punto de vista el progreso del conocimiento acerca de un objeto, concepto o teoría consiste en argumentar contra su concepto previo destruyendo su conocimiento pasado” o superando los obstáculos que se oponen a ello. Esto sugiere que el alumno en el aula es como el científico en las fronteras de las ciencias. Aquel cambiando su propio pensamiento y éste avanzando en el conocimiento científico para ambas tratando de entender y explicar la realidad en sus propios términos con el fin de adquirir conocimiento. Teniendo en cuenta lo anterior, en sentido estricto, cambio conceptual aplica únicamente a las ciencias y en este caso lo utilizamos como una heurística para analizar el aprendizaje en la escuela. Pero dada la similitud entre los dos procesos, en sentido amplio, podemos hablar de cambio conceptual en la escuela pero haciendo hincapié en la naturaleza diferente de este último proceso, con relación al de las ciencias, de allí la particularidad del aprendizaje para estos casos. Varias concepciones asumen el estudio, análisis e investigación del cambio conceptual basándose en algunas de las diferentes posiciones constructivistas, a en algunas de las posiciones asociacionistas. Otros investigadores teniendo como referencia las concepciones alternativas de Driver (1978) colocan en duda la efectividad del cambio conceptual.

De lo dicho anteriormente queda claro que los alumnos “piensan” y piensan diferente de los adultos. Obviamente hay diferentes problemas al respecto. Es tarea fundamental de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias partir de aquello que el alumno sabe y tiene experiencia.

**1.4.3** Esclarecer el significado y las relaciones de los conceptos científicos y su integración con las estructuras globales de la práctica científica. El concepto científico es el objeto del proceso enseñanza-aprendizaje y evaluación. Conocer su naturaleza, sus características y su contenido lógico organizado en materiales impresos de carácter público son fundamentales por el papel que el mismo juega en las concepciones del maestro y el uso que del mismo se hace en el aprendizaje del alumno(a). Con el término nos estamos refiriendo a los distintos conceptos de las prácticas científicas. En este caso, si les definimos asumiéndolas ubicadas en el contexto de las prácticas sociales de una sociedad determinada, como el proceso de transformación que se realiza a partir de hechos, ideas, representaciones, nociones, conceptos, teorías por medio del trabajo del hombre sobre la naturaleza y el uso de los métodos determinados y cuyo producto más esclarecido es el conocimiento científico, entenderemos porque al hablar de este último nos estamos refiriendo al conocimiento biológico, físico o químico. Ya se trate de cualquiera de estas disciplinas estos conocimientos científicos son el resultado de un proceso de transformación a través de medios determinados que hacen que los mismos tengan una especificidad, una diferencia y un desarrollo desigual como práctica científica.

En este sentido las ciencias con relación a lo anterior tienen su propio objeto, su propia teoría, su propio método y sus propios protocolos experimentales particulares y con relación a su desarrollo desigual su propia historia y por consiguiente su propia pedagogía que se inscribe en una relación necesaria y específica con cada una de dichas prácticas científicas, las cuales la determinan en última instancia. De allí expresamos, el porque, no existe una pedagogía para la ciencia, sino una pedagogía de la química o una pedagogía de la biología. Esta proposición epistemológica nos permite recuperar la construcción de una pedagogía desde el interior de cada práctica científica, uniendo lo que la teoría pedagógica positivista tanto ha separado la ciencia y la pedagogía, o el método de investigación y el método de exposición. Esta suposición epistemológica es la que nos permite entender porque hay una relación indivisible, necesaria y suficiente entre las

ciencias respectivas y su enseñanza correspondiente, pero tanto la indivisibilidad de la investigación y la docencia de cada una de estas disciplinas constituyen su estructura epistemológica normal.

#### 1.4.3.1 *Acerca del conocimiento científico y su pedagogía*

La concepción del conocimiento científico en un contexto socialmente determinado implica reconocer que la enseñanza de los resultados de las prácticas científicas no es una enseñanza científica, sino que se hace explícito el contexto epistemológico o explicativo o teórico e histórico que ha producido dicho resultado.

El mejor ejemplo de lo que es esta pedagogía lo ofrece Canguilhem, al analizar el experimento, como la alternativa pedagógica en la enseñanza de las ciencias, cuando se toma como un simple resultado fuera del contexto de proceso del conocimiento epistemológico e histórico en el cual tiene sentido.” Nos explica en una lección acerca de la contracción muscular que el profesor está muy feliz por haber establecido un hecho cuando montó la experiencia clásica que consiste en aislar un músculo en un tarro lleno de agua y en mostrar que bajo el efecto de una excitación eléctrica el músculo se contrae sin variación del nivel líquido”. De este “hecho” concluirá: la contracción es una modificación de la forma del músculo sin variación del volumen. Canguilhem, comenta: Es un hecho epistemológico que un hecho experimental enseñado de esta manera no tiene sentido biológico. Para dar sentido a este hecho hay que remanerse al primero que tuvo la idea, de una experiencia de este tipo, es decir, a Swammerdan, (1637-1680) contra las teorías de origen galénico y estoico entonces dominantes, se trataba de demostrar que el músculo de rana aislado continuaba respondiendo a la excitación del nervio mucho tiempo después de la interrupción de la relación con la medula espinal, y además la contracción se hacía sin cambio de volumen y sin aumento de sustancias todo esto se oponía a la contracción por flujo de los espíritus animales en el músculo. Alejado de este debate, fijado en una pedagogía sin historia este “hecho” pierde su sentido real, en verdad histórico para ubicarse en las melancólicas disertaciones sobre “método experimental con las que se complace cierta epistemología dogmática”<sup>2</sup>

#### 1.4.3.2 *El proceso discontinuo del conocimiento científico*

Paralelamente a lo anterior, no se puede concebir la práctica científica como un proceso de transformación acumulativa, en el cual los resultados pertinentes son simplemente una continuidad que va del conocimiento común al conocimiento científico y por ende de lo simple a lo complejo, de lo concreto a lo abstracto, de lo conocido a lo desconocido.

Por consiguiente develar la continuidad del conocimiento científico es asumir el mismo como un proceso discontinuo, esto es como una ruptura entre el conocimiento común y el conocimiento científico. Por tal razón hay que plantear el problema del conocimiento científico en términos de obstáculos. Tal como Bachelard la asume: “Se conoce en contra de un conocimiento anterior, destruyendo conocimientos mal adquiridos o superando aquella, que en el espíritu mismo obstaculiza a la espiritualización”. Es por esta tesis Bachelardiana que pensamos que la enseñanza científica solo es posible a partir de superar los obstáculos epistemológicos y pedagógicos que se oponen a su realización.

<sup>2</sup> Para una crítica a la Epistemología-Dominique Lecourt, Editorial Siglo XX Colección Mínima, pp. 70-71

### 1.4.3.3 La organización lógica del conocimiento

La tesis fundamental en torno a este punto consiste en reconocer la especificidad del mundo de Popper, esto es, el mundo de los contenidos lógicos en libros, librerías, computadores. En este sentido la presentación pública del conocimiento tiene una lógica particular que es pertinente dilucidar para una mejor enseñanza. Por ejemplo, el conocimiento científico en su relación con la práctica científica se presenta en estructuras. Esto es, su contenido, los conceptos de las ciencias no se presentan aislados; se presentan organizados en sistemas de conceptos o conocimientos relacionados. La estructura incluye el planteamiento de sus problemas, medición e interpretación de los mismos en términos de sus teorías fundamentales, la organización de sus conceptos, su orden, jerarquía, relaciones, hechos y métodos. Saber de las redes conceptuales entre los conceptos de las ciencias se convierte en un problema fundamental para la enseñanza de las ciencias.

**1.4.4** Resolver cómo es la interrelación entre los conceptos previos comunes de los alumnos y los conceptos científicos escolarizados” del maestro. Para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias es tarea fundamental resolver este problema. Epistemológicamente este asunto significa: cómo el alumno construye su propio conocimiento de la disciplina a partir de sus concepciones y las del maestro. Pedagógicamente significa las actividades y estrategias que el maestro crea para posibilitar el encuentro racional entre las ideas de los alumnos y sus ideas en el aula de clases. Según la teoría y la práctica que se asuma sobre las relaciones entre la enseñanza y el aprendizaje se originan diferentes interpretaciones para su materialización en el aula de clases.

## 1.5 Propósitos

Esta propuesta de línea de investigación permite saber qué es lo que el estudiante ha entendido de dichos conceptos antes y después de su enseñanza respectiva. Además nos permitirá establecer las condiciones pedagógicas en las cuales es posible enseñar y aprender dichos conceptos basados en una concepción histórica y una concepción pedagógica constructivista de las ciencias.

En particular como producto conceptual de esta línea se espera: conocer el mecanismo como el conocimiento común de los alumnos interactúa con el conocimiento científico escolar de los maestros, de tal forma que el proceso enseñanza, aprendizaje y cambio conceptual sea más efectivo a los propósitos pedagógicos de la escuela y del país, Saber acerca de cuál es el proceso de formación de los conceptos a largo de la vida escolar de los alumnos, Analizar el proceso de enseñanza a partir de conocer el proceso del aprendizaje de los alumnos, Elaborar alternativas pedagógicas de orden curricular que tengan en cuenta el uso de los conceptos previos de los alumnos de su vida cotidiana como de su vida escolar.

## Bibliografía

AUSUBEL, D. P. (1968). *Educational Psychology: A cognitive view*, Holt Rinehart and Winston Inc., London.



- BACHELARD, G. (1975). *La Formación del Espíritu Científico*, Editorial Siglo Veintiuno, Buenos Aires.
- BRUNER, J. S. (1968). *The Process Of Education*, Harvard University Press, Mass: Cambridge.
- CARAMAZZA, A. and OTHERS. (1981). *Náive beliefs in 'sophisticated' subjects: Misconceptions about trajectories of objects*, *Cognition*: 117- 123.
- DISSESA, A. (1982). *Unlearning Aristotelian Physics: A Study Of Knowledge. Based Learning*, *Cognitive Sciences*, 6, 37-75.
- DRIVER, R (1981) *Pupils alternative frameworks in Science*. *Eur. J. Sci. Educ* 3. 93-101
- DRIVER R AND RUSSELL, (1981). *An investigation of the ideas of heat, temperature and change of state of children aged between 8 and 14 years*, Unpublished manuscript, University of Leeds, cited in *Childrens ideas of science*. edited by Driver, R. and Guesne E and Tibesrghen A.(1985), Open university. London
- DRIVER, R.. and EASLEY, J. (1978). *Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students*, *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- GILBERT, J. K OSBORNE, J. R. and FESHAM, P. J. . 3. (1982). *Children's science and its consequences for teaching* *Science Education*, 66(4), 623-633.
- HELM, H (1980). *Misconceptions in physics amongst South A frican pupils stufying physical science*, *South African Journal of Science*, 74, 285-290.
- HEWSON , M. G. A. B. (1985). *The role of intellectual environment in the origin of conceptions: An exploratory study*. In *Cognitive structure and Conceptual change*, edited by West, L. H. T. and Pines, A. L., Academic Press, London.
- HEWSON, M. G. A B (1982). *Students existing knowledge as a factor influencing the acquisition of scientific knowledge*, Ph.D. Universrty of the Witwayersrand, South Africa.
- HEWSON, P. W (1981). *A conceptual change approach to learning science*, *Eur. Sci. Educ.*, 3(4), 383-396.
- INHELDER,,B.,SINCLAIR H. and BOVET, M. (1974). *Learning andDevelopmentin Cognition*, MA Harvard University Press, Cambridge.
- LECOURT, D (1975). *Marxism ond Epistemology: Bachelard Canguilhem, Foucault*, translated from the French by Ben Brewster N.L.B.
- OGBORN , J. (1985). *Eur. J. Sci. Educ.*, Vol. 7, No 2,141- 150.
- PIAGET, J. (1964). *Development and Learning*, *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 176-186.
- PIAGET, J. (1971). *Biology and knowledge*, The University of Chicago Press, Chicago.
- PIAGET, J. (1972). *Psychology and Epistemology*, Pínguin University books.

- PIAGET, J. (1975). *Introducción a la Epistemología Genética: El pensamiento matemático*, Editorial Raídos, Buenos Aires.
- POPPER, K (1967). Ponencia presentada el 25 de agosto de 1967 al tercer Congreso Internacional de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en *Conocimiento Objetivo* Editorial Tecnos SA. 1988 Madrid.
- SEGURA, D. (1981). *El aprendizaje de la ciencia a nivel básico: ¿continuidad o discontinuidad?* En *Naturaleza Educación y Ciencias* N° 0.
- STRAUSS S. and STAVY, R. (1983). *Developmental Psychology and Curriculum Development: The case of heat and temperature*. Paper presented at the international seminar (Misconceptions in Sciences and Mathematics) held at Cornell University.
- STRAUSS, S. and STAVY, R. (1982). *Ushaped behavioural growth: Implications for theories of development*, In W. W. Hartup (Ed.), *Review of child development research*, 6, 547-599. University of Chicago Press, Chicago.
- STRAUSS, S. (1987). *Educational developmental Psychology and School Learning*. En LIBEN, S. L. (1987) *Development and Learning: Conflict or Congruence*, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers New Jersey.
- VIENNOT, L. (1979). *Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics*, Eur. J. Sci, Educ., Vol 1, No 2, 205-221.
- VYGOTSKY, L. S. (1962). *Thought and language*, MA: MIT Press, Cambridge. 209.
- WISER, M. and CAREY, S. (1983). *When heat and temperature were one*. En *Mental Models* editado por Dedre Gentner and Albert, L. Stevens Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, London, 267-297.
- WISER, M. (1983). *The differentiation of heat and temperature: History of science and novice-expert shift*. Publicado en Strauss, S. (1988), *Ontogeny, Phylogeny, and Historical Development*, Human Development, Volume 2, Tel Aviv University, Ablex Publishing Corporation Norwood, New Jersey.
- ZAMBRANO, A. C. (1996). *El Constructivismo según Ausubel, Driver y Vygotsky*, Actualidad Educativa, Año III, No. 12.