

Universitat Autònoma de Barcelona

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA

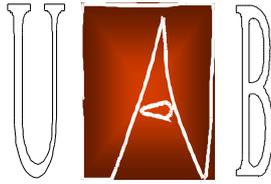
**Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias
Experimentales**

TESIS DOCTORAL

**EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DESDE UNA
PERSPECTIVA MULTIDIMENSIONAL. APLICACIÓN
AL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN**

Óscar Eugenio Tamayo Alzate

Bellaterra Mayo 2001



Universitat Autònoma de Barcelona

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA

**Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias
Experimentales**

TESIS DOCTORAL

**EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DESDE UNA
PERSPECTIVA MULTIDIMENSIONAL. APLICACIÓN
AL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN**

Investigación realizada en el marco del Programa del departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona, por Óscar Eugenio Tamayo Alzate, bajo la dirección de la Dra. Neus Sanmartí Puig.

Bellaterra Mayo 2001

Neus Sanmartí Puig

Óscar Eugenio Tamayo Alzate

A mis padres y a mi familia

A Mary, Lucas y Santiago

Agradecimientos:

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a Neus Sanmartí por su disponibilidad, orientación y paciencia durante la realización de este trabajo.

Al IES Gorgs y en especial al profesor Bartomeu Palou T. y a los estudiantes que voluntariamente participaron en la investigación.

A la Universidad Autónoma de Manizales por darme la oportunidad de continuar mi proceso de formación

A Colciencias por su apoyo y soporte para desarrollar este proceso

Al departamento de didáctica de las matemáticas y de las ciencias experimentales, a sus profesores y personal administrativo.

A todos mis compañeros del departamento por su apoyo incondicional y su invaluable amistad.

Gracias a todas las personas que de una u otra forma han colaborado y han hecho posible la realización de este trabajo.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
CAPÍTULO 2: LA TESIS DE MAESTRÍA COMO PUNTO DE PARTIDA.....	7
2.1. Breve resumen de la tesis de maestría	7
2.2. Representaciones mentales característicos para el grupo de 1º de bachillerato.....	9
2.2.1. Representación mental general.....	10
2. 3. Conclusiones de la tesis de maestría.....	11
2. 3. 1. Sobre los modelos mentales en el campo conceptual de la respiración.	12
2. 3. 2. Sobre el análisis cognitivo-lingüístico.....	12
2. 3. 3. Sobre el análisis ontológico.....	13
2. 3. 4. Sobre el análisis epistemológico	13
2. 3. Conclusiones de la tesis de maestría.....	11
2. 4. Utilidad de la tesis de maestría como referente para la tesis doctoral.	14
CAPITULO 3: MARCO TEORICO.....	15
3. 1. Introducción.....	15
3. 2. Visión de la evolución conceptual desde la filosofía de las ciencias.....	16
3. 3. Teorías cognitivas para la formación de los conceptos	19
3. 3. 1. La formación de conceptos en Piaget.....	19
3. 3. 2. Formación de conceptos en Ausubel.....	20
3. 3. 3. Formación de conceptos en Vygotsky.....	20
3. 3. 3. 1. La formación de conceptos científicos desde la perspectiva vygotskiana	22
3. 3. 3. 2. La generalización en la formación de conceptos científico	23
3. 3. 4. Formación de conceptos científicos en la teoría de la actividad	24
3. 4. Visión de la evolución conceptual desde la ciencia cognitiva.....	25

3. 5. Visión de la evolución conceptual desde la didáctica de las ciencias.....	30
3. 5. 1. Modelo del cambio conceptual de Poster, Strike, Hewson y Gertzog (1982).....	30
3. 5. 2. Otras dimensiones en el estudio de la evolución conceptual	32
3. 6. Perspectiva multidimensional en el estudio de la evolución conceptual en la didáctica de las ciencias	34
3. 6. 1. El modelo cognoscitivo de ciencia y la compatibilidad entre el conocimiento cotidiano y el científico.	35
3. 6. 2. Elementos profundos y superficiales de la estructura cognitiva de los estudiantes como el resultado de la integración del modelo cognitivo de ciencia y la multidimensionalidad en el estudio de la evolución conceptual	36
3. 7 Aspectos cognitivos en la evolución conceptual	37
3. 8. Aspectos lingüísticos en la evolución conceptual.....	37
3. 8. 1. El lenguaje y la formación de los conceptos científicos.....	38
3. 8. 1. 1. Función comunicativa del lenguaje.....	39
3. 8. 1. 2. Función categorizadora del lenguaje: La elaboración de significados en las clases de ciencias	40
3. 8. 1. 3. El lenguaje y la construcción y regulación de los conceptos científicos	42
3. 8. 2. Análisis del discurso de los estudiantes.....	45
3. 8. 2. 1. Análisis del discurso escrito de los estudiantes.....	46
3. 9. Algunos aportes de las dimensiones metacognitiva y motivacional en el estudio de la evolución conceptual	49
3. 9. 1. Habilidades metacognitivas y evolución conceptual.....	49
3. 9. 2. Desarrollo de habilidades metacognitivas desde una perspectiva integral de la evolución conceptual	54
3. 9. 3. Motivación y evolución conceptual.....	55
3. 10. Estudios sobre el campo conceptual de la respiración.....	58
3. 10. 1. Introducción.....	58
3. 10. 2. El concepto de respiración en la antigüedad.	58
3. 10. 3. La respiración para los científicos modernos	59
3. 10. 4. Consolidación del campo conceptual de la respiración. Sus modelos explicativos centrales.....	61
3. 10. 5. Estudios actuales en el campo conceptual de la respiración	63
3. 11 Integración entre las dimensiones conceptual, cognitivo-lingüística, metacognitiva y motivacional en el estudio de la evolución conceptual.....	66

CAPITULO 4: METODOLOGÍA.....67

4.1. Consideraciones metodológicas generales.....	67
4. 1. 1. ¿Por qué el estudio de la evolución conceptual a partir del análisis del discurso escrito de los estudiantes?	70

4. 1. 2. Validez.....	71
4. 2. Metodología de la investigación	71
4. 2. 1. Objetivos generales.	71
4. 2. 2. Objetivos específicos.....	72
4. 2. 2. 1. Desde la perspectiva conceptual	72
4. 2. 2. 2. Desde la perspectiva cognitivo-lingüística.....	72
4. 2. 2. 3. Desde las perspectivas metacognitiva y motivacional	72
4. 3. Preguntas generales orientadoras de la investigación.....	72
4. 4. Diseño de la investigación	73
4. 5. Ámbito de la experiencia	74
4. 5. 1. Muestra.	74
4. 5. 2. El profesor y la institución educativa	75
4. 5. 3. El tema estudiado: El metabolismo celular. El catabolismo	75
4.6. Categorías de análisis.....	76
4. 6. 1. Evolución conceptual	76
4. 6. 2. Categoría de análisis: Análisis cognitivo-lingüístico	77
4. 6. 3. Categoría de análisis: Metacognición-motivación	79
4. 6. 3. 1. Subcategoría metacognición	79
4. 6. 3. 2. Subcategoría motivación.....	80
4. 7. Estructura general para el análisis de la información	82
4. 8. Recolección de la información	82
4. 8. 1. Instrumentos utilizados para la recolección de la información.	83

CAPITULO 5: ANALISIS Y DISCUSION87

5. 1. Análisis y discusión de las conceptualizaciones de Juan.....	88
5. 1. 1. Análisis conceptual.....	88
5. 1. 2. Análisis cognitivo-lingüístico.....	98
5. 1. 3. Análisis metacognitivo	103
5. 1. 4. Análisis motivacional	114
5. 1. 5. Discusión acerca de los aspectos conceptuales de Juan	122
5. 1. 5. 1. ¿Uno o múltiples tipos de explicación sobre la respiración?	122
5. 1. 5. 2. ¿Evolucionan las ideas de Juan acerca de la respiración?.....	124
5. 1. 5. 3. Algunas características del discurso escrito de Juan que facilitan u obstaculizan la evolución conceptual.....	127
5. 1. 5. 4. Algunas características metacognitivas y motivacionales de Juan que facilitan u obstaculizan su evolución conceptual.	130
5. 1. 5. 5. Aspectos profundos y superficiales en las ideas de Juan	133
5. 1. 6. Posibles inter-relaciones entre las tres categorías estudiadas.....	134
5. 2. Análisis y discusión de las conceptualizaciones de Marta	139
5. 2. 1. Categoría de análisis: Evolución conceptual.....	139
5. 2. 2. Análisis cognitivo-lingüístico.....	148

5. 2. 3. Análisis metacognitivo	153
5. 2. 4. Análisis motivacional	169
5. 2. 5. Discusión general sobre las conceptualizaciones de Marta.....	172
5. 2. 5. 1. ¿Uno o múltiples tipos de explicación sobre la respiración?	172
5. 2. 5. 2. ¿Evolucionan las ideas de Marta acerca de la respiración?	174
5. 2. 5. 3. Algunas características del discurso escrito de Marta que facilitan u obstaculizan su evolución conceptual.....	176
5. 2. 5. 4. Algunas características metacognitivas y motivacionales de Marta que facilitan u obstaculizan su evolución conceptual.....	177
5. 2. 5. 5. Aspectos profundos y superficiales de las ideas de Marta	180
5. 2. 6. Posibles inter-relaciones entre las tres categorías estudiadas.....	181
5. 3. Análisis y discusión de las conceptualizaciones de Lorena.....	185
5. 3. 1. Análisis conceptual.....	185
5. 3. 2. Análisis cognitivo-lingüístico.....	196
5. 3. 3. Análisis metacognitivo	202
5. 3. 4. Análisis motivacional	213
5. 3. 5. Discusión general de los aspectos conceptuales de Lorena.....	217
5. 3. 5. 1. ¿Uno o múltiples tipos de explicación sobre la respiración?	217
5. 3. 5. 2. ¿Evolucionan las ideas de Lorena acerca de la respiración?.....	219
5. 3. 5. 3. Algunas características del discurso escrito de Lorena que facilitan u obstaculizan su evolución conceptual.....	221
5. 3. 5. 4. Algunas características metacognitivas y motivacionales que facilitan u obstaculizan su evolución conceptual.....	222
5. 3. 5. 5. Aspectos profundos y superficiales en las ideas de Lorena	224
5. 3. 6. Posibles inter-relaciones entre las tres categorías estudiadas.....	226
5. 4. Análisis y discusión de las conceptualizaciones de Laura.....	229
5. 4. 1. Categoría de análisis: Evolución conceptual.....	229
5. 4. 2. Análisis cognitivo-lingüístico.....	236
5. 4. 3. Análisis metacognitivo.	239
5. 4. 4. Análisis motivacional:	252
5. 4. 5. Discusión general de las conceptualizaciones de Laura.....	256
5. 4. 5. 1. ¿Uno o múltiples tipos de explicación sobre la respiración?	256
5. 4. 5. 2. ¿Evolucionan las ideas de Laura acerca de la respiración?.....	258
5. 4. 5. 3. Algunas características del discurso escrito de Laura que facilitan u obstaculizan su evolución conceptual.	260
5. 4. 5. 4. Algunas características metacognitivas y motivacionales que facilitan u obstaculizan su evolución conceptual.	262
5. 4. 5. 5. Algunas características metacognitivas y motivacionales que facilitan u obstaculizan su evolución conceptual.	263
5. 4. 6. Posibles interrelaciones entre las categorías.....	264

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS.....267

6. 1. Conclusiones generales e implicaciones didácticas.....	267
6. 1. 1. Sobre la categoría evolución conceptual	267
6. 1. 1. 1. ¿Uno o múltiples modelos explicativos para la respiración?	267
6. 1. 1. 2. ¿Se producen cambios fuertes o débiles sobre la respiración?	269
6. 1. 1. 3. ¿Cómo evolucionan las ideas de los estudiantes sobre a respiración?	272
6. 1. 1. 4. ¿Aporta la jerarquización y la diferenciación entre los modelos a la evolución conceptual?.....	276
6. 1. 2. Sobre la categoría cognitivo-lingüística	277
6. 1. 2. 1 ¿Qué clase de críticas pueden realizar los estudiantes?	277
6. 1. 2. 2. Sobre la coherencia de los textos	281
6. 1. 2. 3. Sobre la estructura general del discurso escrito y la causalidad	282
6. 1. 3. Sobre la categoría metacognición.....	283
6. 1. 3. 1. ¿Aportan los conocimientos metacognitivos a la evolución conceptual de los estudiantes?	284
6. 1. 4. Aspectos motivacionales	286
6. 2. Sobre algunos aspectos metodológicos.....	288

CAPÍTULO 7. ANEXOS C.D.

BIBLIOGRAFÍA.....289

Introducción

Investigar la evolución de los conceptos científicos en la didáctica de las ciencias es importante tanto a nivel de la enseñanza como del aprendizaje. La posibilidad de describir en forma detallada a nivel del aula las representaciones de los estudiantes y sus múltiples formas de cambio, hace de éste un campo de investigación de gran atractivo y a su vez de gran dificultad en la medida en que integra aportes provenientes de diferentes áreas del conocimiento. Destaca a su vez la importancia del estudio de la evolución conceptual en la medida en que ayuda a identificar aspectos que puedan constituirse en posibles obstáculos para su aprendizaje y, en consecuencia, proporciona herramientas valiosas para el diseño y la planeación curricular.

Una de las preguntas centrales en la investigación de la evolución conceptual discute si mencionado cambio es global (Kuhn, 1971; Carey, 1992), o gradual, (Toulmin, 1977); estos dos puntos de vista han orientado la investigación de la evolución conceptual en la didáctica de las ciencias en los últimos 20 años. Se destacan los trabajos pioneros de Driver, (1985), Posner, Strike, Hewson & Gertzog, (1982), y Viennot, (1979). Actualmente se considera la necesidad de tener en cuenta otras dimensiones como la afectiva, la sociocultural, la metacognitiva y la lingüística, entre otras. La influencia de estos dos puntos de vista ha tenido repercusión importante en la didáctica de las ciencias dado que el aprendizaje de los conceptos

científicos usualmente involucra cierta reestructuración de las concepciones pre-instruccionales de los estudiantes,

Proponemos el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva multidisciplinar que reúna las dimensiones: conceptual, cognitivo-lingüística, metacognitiva y motivacional. Esta perspectiva integral nos llevará en un primer momento a un ámbito histórico-filosófico en el que retomaremos algunos aportes que podrán dar luces para la comprensión de la evolución conceptual al interior de la didáctica de las ciencias. En un segundo momento destacaremos aspectos de orden cognitivo en los que mostramos algunos de los modelos propuestos para la evolución conceptual. En tercer lugar nos referiremos a algunas de las relaciones importantes establecidas entre la evolución conceptual y el discurso (escrito) de los estudiantes. Para finalizar destacaremos la importancia de aspectos metacognitivos y motivacionales en el estudio de la evolución conceptual para la didáctica de las ciencias.

La segunda parte está dedicada a precisar aspectos metodológicos así como el análisis y discusión de la información recolectada. Seguimos una metodología de investigación centrada en estudios de casos en los cuales el análisis cualitativo fue central. Una vez realizados los estudios de casos en los cuales integramos las diferentes dimensiones teóricas, pasamos a realizar comparaciones entre ellos con el propósito de comprender la evolución conceptual mostrada por cada uno de los estudiantes.

La tercera y última parte está dedicada a presentar las conclusiones e implicaciones para la didáctica de las ciencias. Destacamos en esta fase algunas de las características más determinantes al interior de las diferentes dimensiones de estudio, así como de manera integral y su posible incidencia para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

1

El problema de investigación

El estudio de los conceptos científicos ha sido abordado tradicionalmente desde la filosofía y la psicología. Desde estas dos áreas del conocimiento el interés ha sido precisar su origen y saber cómo cambian. En lo relacionado con la didáctica de las ciencias, el estudio de los conceptos ha estado más dirigido a establecer su carácter de científicos o de cotidianos, además de estudiar la posible evolución como resultado de procesos de enseñanza.

El conocimiento detallado de la evolución de los conceptos científicos es importante para la didáctica de las ciencias en la medida en que ayuda a encontrar metodologías de enseñanza más eficaces, al igual que posibilita el logro de aprendizajes más significativos. Su estudio debe integrar diferentes campos del saber, con el propósito de obtener comprensiones holísticas de la evolución de los conceptos científicos que permitan orientar acciones para la cualificación de los procesos de enseñanza-aprendizaje

Los estudios tradicionales del cambio o evolución conceptual se centran en aspectos conceptuales, en lo que se ha llamado “cognición fría” y desconocen aspectos como la motivación, los intereses, la afectividad, el autoconcepto y los factores contextuales de la clase, entre otros. Este enfoque tradicional suele dar mayor importancia a la dimensión conceptual y a la construcción individual de los conceptos que a otras dimensiones como la motivacional, la lingüística y la dimensión social del conocimiento y del aprendizaje.

Investigaciones recientes sobre las concepciones de los estudiantes consideran que además del estudio de la dimensión conceptual se deben tener en cuenta otros marcos relacionados, por ejemplo, con los intereses y motivaciones de los estudiantes.

La evolución de los conceptos requiere del alumno toma de conciencia de las relaciones entre sus modelos interpretativos que le proporciona la ciencia y sus propias concepciones alternativas. La conciencia metacognitiva está relacionada con la actitud de los estudiantes frente al aprendizaje de las ciencias.

Estos diferentes campos del saber deben integrarse en el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional. En consecuencia la evolución conceptual debe reunir el estudio de las concepciones alternativas de los estudiantes, con sus motivaciones frente al aprendizaje de las ciencias, sus habilidades cognitivo-lingüísticas y sus conocimientos metacognitivos. Consideramos que el estudio de los conceptos desde la integración de estas múltiples dimensiones permite una mejor comprensión de los complejos procesos que participan en la evolución conceptual.

Es igualmente importante para el diseño curricular la necesidad de conocer a profundidad algunos de los posibles procesos seguidos por los estudiantes para la construcción de los conceptos científicos, sus obstáculos más relevantes y sus múltiples transformaciones como resultado de la experiencia escolar. Desde esta perspectiva, el desarrollo de planes curriculares en las ciencias experimentales deberá considerar, como uno de los puntos obligados de reflexión, los múltiples factores que inciden en la construcción de los conceptos científicos y cómo éstos últimos se transforman, antes que entrar a proponer posibles estrategias didácticas para su enseñanza.

En cuanto a la formación y evolución de los conceptos la polémica en el ámbito de la enseñanza de las ciencias ha estado centrada, según Pozo (1989), en definir si para el aprendizaje de los conceptos se parte de los conocimientos anteriores (asociacionismo) o, que no sólo se construyen interpretaciones de la realidad a partir de los conocimientos anteriores sino que además se construyen esos mismos conocimientos en forma de teorías (estructuralismo). Estos dos enfoques generales han orientado la investigación sobre la evolución conceptual en la enseñanza.

En los últimos 15 años la teoría del cambio conceptual ha tenido un impacto importante sobre la investigación en didáctica de las ciencias, es claro además que su formulación inicial necesita modificarse para dar cuenta de los nuevos datos empíricos. Tales modificaciones incluyen la introducción de diferentes dimensiones teóricas como la sociohistórica (Magnusson et al. 1997, Vygotsky, 1995a), la afectiva (Pintrich et al 1993), la sociocultural del aprendizaje (O'Loughin, 1992) y metodológicas como los estudios sobre el aprendizaje y la cognición situada (Hedegaard, 1998), "teoría fundada" (Taber, 1997), la interpretación hermenéutica interactiva (Petri & Niedderer (1998) y los análisis del discurso (Edwards & Potter, 1992) entre otros.

No obstante este interés actual por el estudio de la evolución conceptual son pocos los acuerdos logrados entre la comunidad científica. En términos generales hay poco acuerdo acerca de qué es y cómo se produce la evolución conceptual. Se acepta la existencia de cambios superficiales dentro de dominios específicos, así como también la gran dificultad para lograr cambios conceptuales profundos o radicales. Hay consenso generalizado en la comunidad científica y, poco a poco, en buena parte

de los profesores de ciencias (Pozo, 1999), en la importancia de “cambiar” las concepciones alternativas de los alumnos por concepciones científicas, de igual manera se empieza a reconocer la necesidad de descentrar el estudio de la evolución conceptual e incluir otras dimensiones con el propósito de realizar comprensiones más integrales y de explorar nuevas metodologías que permitan una comprensión más profunda de la evolución conceptual. En este panorama general de acuerdos y desacuerdos sobre la evolución de los conceptos científicos nos encontramos frente a los siguientes asuntos que delimitan nuestro problema de investigación:

El primero referido a la distinción entre dos tipos de conocimiento: el cotidiano y el científico. Algunos investigadores, a partir de sus datos de investigación, sugieren que las ideas de los estudiantes tienden a ser incoherentes, inconsistentes, fragmentarias y transitorias (Claxton, 1984). Otros investigadores consideran que los estudiantes pueden construir esquemas explicativos alternativos que funcionan como teorías, es decir, son consistentes, coherentes y aplicables en amplios períodos de tiempo y a un amplio rango de fenómenos (Driver et al, 1985; Tytler, 1998a, Vosniadou, 1992, 1994a). Las relaciones entre estos dos tipos de conocimiento, desde el punto de vista de la psicología cognitiva, ha permitido diferenciar claramente tres concepciones: la compatibilidad, la incompatibilidad y la independencia entre el conocimiento científico y el cotidiano, (Pozo, 1999).

El segundo, en cuanto a abordar el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva unidimensional, centrada en los conceptos o, desde una perspectiva multidimensional, en la que se tengan presentes aspectos motivacionales, cognitivo-lingüísticos, metacognitivos y conceptuales. Consideramos que el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva integral proporciona comprensiones más útiles para la didáctica de las ciencias debido a que permite lograr aprendizajes más significativos por parte de los estudiantes.

El tercero, en cuanto a considerar la evolución conceptual al interior de un modelo cognoscitivo de ciencia (Giere, 1992, Izquierdo, 1999), según el cual lo más importante de las teorías es que tengan significado en el mundo, por esta razón la teoría esta constituida por un conjunto de modelos teóricos, cada uno adecuado para representar un conjunto determinado de fenómenos y para actuar sobre ellos gracias a “hipótesis teóricas” que relacionan los modelos y los hechos. Desde esta perspectiva la evolución conceptual de los estudiantes vendría determinada por el empleo diferenciado y más significativo de sus modelos explicativos según diferentes contextos en los que los empleen.

El cuarto, en cuanto considerar que la estructura cognitiva de los estudiantes tiene distintos modelos explicativos con diferentes grados de coherencia, integración y seguridad, al interior de los cuales es conveniente identificar aspectos profundos y superficiales correspondientes a las diferentes dimensiones en el estudio de la evolución conceptual., es decir, la evolución de los diferentes modelos explicativos

de los estudiantes debe asumirse desde la perspectiva multidimensional antes propuesta, donde es posible identificar algunos de los aspectos profundos y superficiales, de las diferentes dimensiones, que pueden constituirse como obstáculos o potencialidades en la evolución conceptual.

Proponemos el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva que integre los cuatro aspectos antes mencionados. Consideramos que lograr comprensiones profundas de la evolución conceptual en las que se identifiquen aspectos profundos y superficiales de la estructura cognitiva de los estudiantes en las diferentes dimensiones estudiadas y dentro de un modelo cognoscitivo de ciencia permitirá identificar posibles obstáculos en el aprendizaje de las ciencias y, específicamente sobre el campo conceptual de la respiración en estudiantes de bachillerato.

2

La tesis de maestría como punto de partida

2. 1. Breve resumen de la tesis de maestría

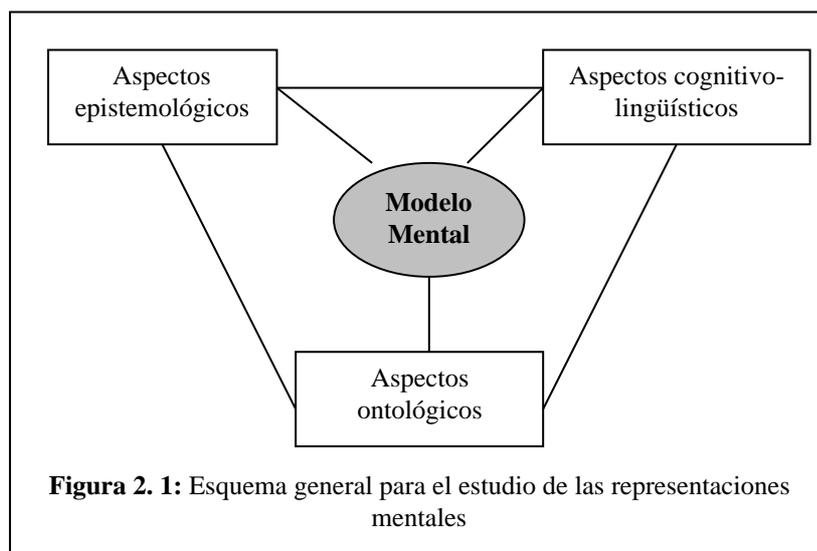
A continuación presentamos algunos de los aspectos teóricos y metodológicos más destacables de la tesis de maestría, los cuales sirvieron sin lugar a dudas para orientar nuestro trabajo posterior.

Consideramos que estudiar la formación de los conceptos científicos desde una perspectiva integral en la que se reúnan aspectos histórico-epistemológicos, ontológicos y cognitivo-lingüísticos nos puede acercar a un conocimiento más fino de cómo el estudiante utiliza los conocimientos previos en la construcción de nuevos conceptos, de cómo estos conceptos evolucionan, de cuáles son sus múltiples significados y sentidos según los diferentes contextos en los cuales él participa, de cómo son representados a nivel del pensamiento y de cómo incidir favorablemente para su desarrollo y regulación desde la didáctica de las ciencias. Un análisis detallado de los aspectos teóricos, metodológicos y conclusiones aparecen desarrollados con detalle en Tamayo, (1999).

Las preguntas orientadoras de la investigación fueron:

1. ¿Cuáles son las representaciones mentales sobre respiración que caracterizan al grupo de estudio analizado?
2. ¿Cómo aportan los aspectos cognitivo-lingüísticos, ontológicos y epistemológicos a la elaboración de las representaciones mentales de los estudiantes acerca del concepto de respiración?
3. ¿Qué obstáculos cognitivo-lingüísticos, ontológicos y epistemológicos dificultan el aprendizaje en el campo conceptual de la respiración en estudiantes de 1° de bachillerato?

El marco teórico de la investigación estuvo conformado principalmente por las siguientes perspectivas teóricas en cuanto a la formación y evolución de conceptos, (ver figura 2.1):



- Filosofía de la ciencia. Epistemología de la bioquímica e historia de la bioenergética.
- Ciencia cognitiva. Construcción de conceptos científicos y modelos mentales.
- Lingüística. Lenguaje y formación de conceptos científicos.
- Didáctica de las ciencias. Formación de conceptos científicos y evolución conceptual

Los objetivos que nos propusimos en el trabajo de maestría fueron los siguientes:

1. Identificar las representaciones mentales sobre el campo conceptual de la respiración en estudiantes de 1° de bachillerato.
2. Establecer el aporte de los aspectos cognitivo-lingüísticos, ontológicos y epistemológicos a la elaboración de las representaciones mentales de los estudiantes de primero de bachillerato acerca del concepto de respiración.

3. Identificar obstáculos ontológicos, cognitivo-lingüísticos y epistemológicos que dificultan el aprendizaje del campo conceptual de la respiración en estudiantes de primero de bachillerato.
4. Profundizar en el conocimiento de la formación y evolución de los conceptos científicos en el aula a partir del análisis cognitivo-lingüístico.

Para lograr los objetivos propuestos se realizaron las acciones que se destacan a continuación:

- Diseño y aplicación de instrumentos para la recolección de información
- Análisis de la información desde cada una de las tres perspectivas propuestas.
- Caracterización de las principales tendencias en cada una de las categorías estudiadas y descripción de las representaciones mentales de los estudiantes sobre la respiración.

El análisis de la información se realizó como se describe a continuación:

1. Elaboración de redes sistémicas sobre el conjunto de la información recogida.
2. Con base en las redes sistémicas se realizó un primer análisis descriptivo acerca del campo conceptual de la respiración, centrado básicamente en aspectos como la ubicación de la respiración, sus principales funciones, y el proceso que ella involucra.
3. La organización de la información en las redes sistémicas permitió pasar a los tres análisis específicos:
 - Cognitivo-lingüístico
 - Epistemológico, y
 - Ontológico
4. La integración de los tres análisis antes mencionados condujo a la identificación de representaciones mentales generales para el grupo estudiado, de igual manera se identificaron algunas tendencias más específicas.

Con base en los análisis realizados se elaboraron diferentes descripciones comprensivas que integraban los diferentes análisis realizados; a continuación describimos los tres tipos de representaciones encontradas en el grupo analizado.

2. 2 Representaciones mentales característicos para el grupo de 1º de bachillerato.

La construcción de las diferentes representaciones características para cada uno de los grupos estudiados sigue las orientaciones teóricas desarrolladas en páginas anteriores acerca de las representaciones mentales y la evolución conceptual.

Las tres ópticas de análisis sobre las producciones escritas de los estudiantes nos permitieron definir un modelo para un campo conceptual determinado desde una perspectiva más holística. Es de aclarar que mencionado análisis, inicialmente individual y posteriormente integral, responde sólo a un artificio metodológico, no con ello queriendo decir que la forma en la cual los estudiantes elaboran sus conceptualizaciones responde de manera independiente a alguno o algunos de los análisis aquí tratados. Para nuestro caso es claro que las comprensiones de los estudiantes sobre los hechos o fenómenos vividos o estudiados, responden en su totalidad a comprensiones globales de la realidad en cuestión, en las que influyen tanto las creencias como las experiencias por ellos vividas.

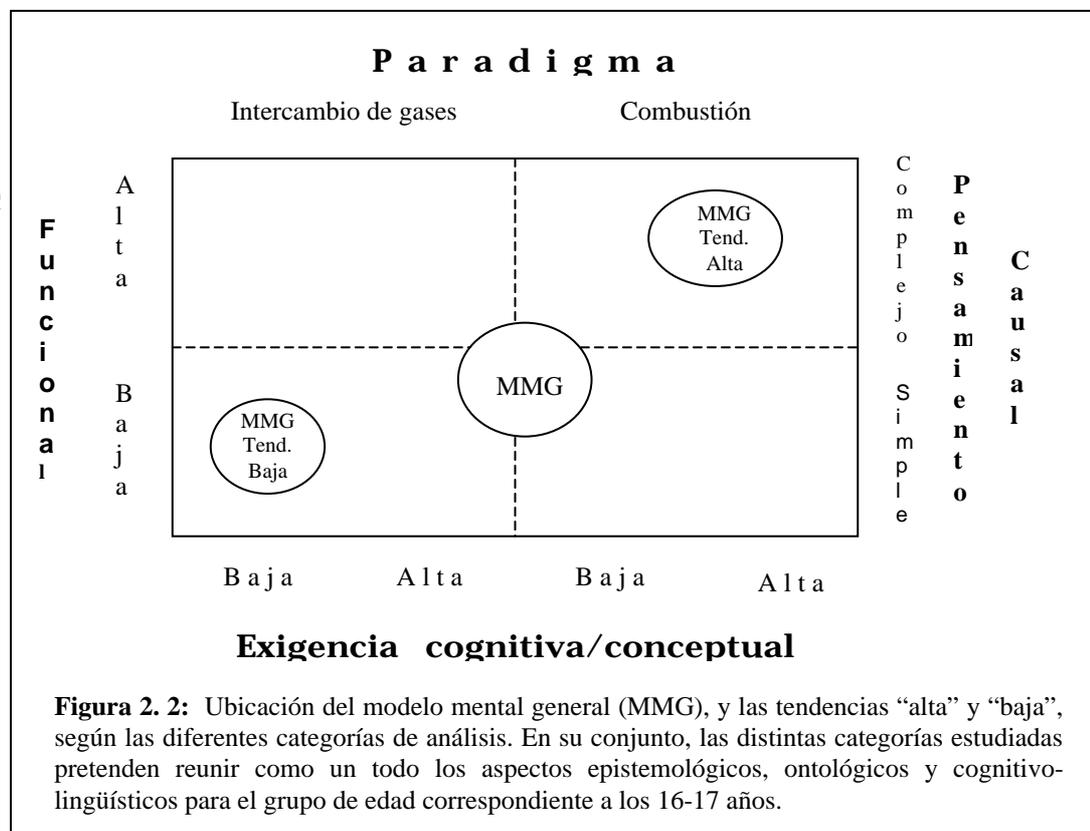
A continuación presentamos una descripción general que recoge las principales tendencias encontradas en el grupo analizado. Esta primera descripción la catalogamos como un núcleo común, a partir del cual podrán encontrarse múltiples diferenciaciones de carácter más individual

2. 2. 1. Representación mental general

Dentro de este grupo de análisis se concibe como la principal función de la respiración la producción de energía, (67%). Llama la atención la poca diferenciación que se hace al proceso que implica la respiración, el 81% de los estudiantes la relacionan con los procesos de intercambio de gases y de combustión. El proceso asociado con la respiración se centra a nivel del sistema cardio-respiratorio, dentro del cual es frecuente encontrar descripciones más o menos detalladas del recorrido realizado tanto por el oxígeno como por la sangre, lo que de alguna manera supone el develamiento de concepciones inducidas bien por la escuela o por la cultura. Las explicaciones elaboradas por los estudiantes, en las que se sigue una secuencia causal de proposiciones y oraciones, suponen la existencia de pensamiento causal simple; en éstas es frecuente encontrar referencias a la ubicación de la respiración a nivel celular sin llegar a precisar aspectos relevantes tanto a nivel estructural como funcional. Relacionado con lo anterior, se observa la realización de representaciones gráficas para la respiración centradas en el sistema cardio-respiratorio, no obstante en los discursos “se hable” a nivel celular.

El análisis de los discursos realizados por los estudiantes muestra la tendencia a elaborar textos con coherencia global condicional (67%), en los que la exigencia conceptual es moderada, (una media de 4 proposiciones diferentes empleadas en el texto), con predominio de discursos coherentes estables y descriptivos (reproductivos). En este sentido son comunes textos en los que los estudiantes

enlazan de manera lineal proposiciones, obteniendo como resultado final una explicación en la que no es clara la funcionalidad de cada una de las proposiciones utilizadas al significado global del texto. Con base en esta descripción general correspondiente a los estudiantes de 1° de bachillerato, consideramos conveniente realizar interpretaciones más finas las cuales nos llevaron a definir con mayor detalle ciertas tendencias en la representación general descrita, las cuales presentamos como representaciones mentales de “tendencia baja” y de “tendencia alta”.



Las dimensiones de análisis incluidas en el esquema anterior reúnen aspectos epistemológicos, ontológicos y cognitivo-lingüísticos que permiten explicar y comprender las representaciones mentales expresadas por los estudiantes.

2.3. Conclusiones de la investigación

2.3.1. Sobre los modelos mentales en el campo conceptual de la

respiración.

En el grupo de estudio mencionado, se observó la tendencia a considerar la respiración a nivel macroscópico, donde toman fuerza las concepciones centradas en el sistema cardio-respiratorio. Es evidente así mismo la tendencia a hacer referencia a la respiración como un proceso de intercambio de gases, el cual se relaciona directamente con las vías respiratorias superiores y con los pulmones. Se mencionan en términos generales las relaciones de la respiración con otros procesos celulares como la nutrición, la producción de energía, el mantenimiento de la temperatura corporal y el ejercicio. Sin embargo estas relaciones se ubican a nivel del sentido común.

La función central asignada a la respiración es la de producción de energía; no obstante, se observó un desconocimiento importante del proceso por el cual los organismos transforman la energía almacenada en los alimentos en energía utilizable por el organismo. En el mejor de los casos los estudiantes se limitan a ubicar el proceso a nivel celular e incluso mitocondrial.

2. 3. 2. Sobre el análisis cognitivo-lingüístico

Queremos inicialmente llamar la atención sobre el tipo de discurso elaborado por los estudiantes en función de una explicación científica determinada. Plantear que son discursos causales no es nuevo, (Pozo, 1987; Gutiérrez, 1996;), sin embargo, consideramos importantes algunas diferencias entre los distintos tipos de explicaciones causales elaboradas por los estudiantes. Se observó la tendencia general a elaborar discursos causales en los que no es clara la funcionalidad de las diferentes proposiciones utilizadas en el conjunto total de la explicación. Esta baja coherencia funcional esta acompañada, en general, con el uso de un bajo número de proposiciones diferentes, (bajo número de variables en la explicación), lo cual conduce a la elaboración de discursos que siguen secuencias causales o condicionales con poco poder explicativo.

Relacionado con lo anterior se encontró la dificultad para dar un significado global en las explicaciones realizadas por los estudiantes, debido a la ausencia de proposiciones o ideas unificadoras en función de las cuales se construya el discurso en su totalidad. La ausencia de carácter funcional en la explicación puede llevar fácilmente al estudiante a desenfocar su intencionalidad explicativa inicial y terminar con la construcción de discursos a manera de mosaicos de ideas o de proposiciones.

Otro aspecto de importancia es la aparente relación directa encontrada entre los discursos elaborados por los estudiantes y los del libro de texto y del profesor. Aunque esta relación no fue uno de los objetivos estudiados, si es evidente el empleo

de conceptos específicos sin significado claro, lo que hace pensar en el empleo de un lenguaje aprendido de manera superficial y repetitiva, muy distante de lo propuesto por Lemke, 1997 y Sanmartí, 1996, entre otros.

Por último, encontramos falta de coherencia entre las explicaciones escritas realizadas por los estudiantes y sus representaciones gráficas. Mientras sus discursos hacen referencia a la ubicación celular de la respiración, sus representaciones gráficas se centran exclusivamente a nivel de sistema respiratorio, en el que los pulmones desempeñan la función central.

2. 3. 3. Sobre el análisis ontológico

Dentro de las concepciones alternativas más destacables en el grupo de estudio encontramos las orientadas a señalar directamente a la sangre, o al movimiento como responsables de la temperatura corporal, sin llegar a establecer alguna relación con el proceso de la respiración. Se observó también cierta tendencia a considerar al aire, al oxígeno o a la energía como “sustancias” negativas que debían ser eliminadas por el organismo mediante la respiración.

Las explicaciones dadas por los estudiantes se caracterizan por emplear un lenguaje más cercano a su cotidianidad, es un lenguaje en el que no se encuentra mucha similitud con el discurso característico del texto escolar o del profesor. En suma, podríamos considerarlas, al menos hipotéticamente, como posibles obstáculos de orden ontológico para la construcción del conocimiento en el campo de estudio de la respiración.

2. 3. 4. Sobre el análisis epistemológico

En el grupo de estudio fueron evidentes dos tendencias epistemológicas relacionadas con la respiración. La primera es vincularla directamente con el intercambio de gases, donde los pulmones juegan papel central. La segunda, considera la respiración como una combustión. La alta frecuencia de explicaciones de los estudiantes, cerca del 80%, que incluyen estos dos aspectos en sus explicaciones, nos hacen pensar que son verdaderos obstáculos para la comprensión de la respiración como proceso directamente responsable de la obtención y transformación de la energía a nivel mitocondrial.

2. 4. Utilidad de la tesis de maestría como referente para la tesis doctoral

Consideramos que los aportes de los primeros resultados descritos en la tesis de maestría son importantes, entre otras, por las siguientes razones:

- Nos permitieron un primer acercamiento al estudio de los conceptos en el que considerábamos diferentes dimensiones en su análisis.
- Nos familiarizamos con el análisis cualitativo a partir del discurso escrito de los estudiantes, central durante el análisis de la información para la tesis doctoral.
- A partir de los primeros resultados identificamos otras dimensiones importantes en el estudio de la evolución conceptual, específicamente los aspectos metacognitivos y motivacionales.
- De igual manera logramos precisar algunas dimensiones que por diferentes razones no serían investigadas posteriormente, tales como el estudio de los modelos mentales de los estudiantes sobre la respiración. En este sentido consideramos que los resultados de la tesis de maestría fueron orientadores en la definición y re-definición de marcos teóricos y metodológicos a partir de los cuales continuamos la investigación.

Al igual que lo planteamos anteriormente, seguimos convencidos que profundizar en la comprensión de las formas como se construyen los conceptos científicos, su transformación y vulnerabilidad frente a los procesos de enseñanza serán sin lugar a dudas herramientas imprescindibles para los profesores de ciencias. En la medida en que dispongamos de un mejor conocimiento de las múltiples representaciones de los alumnos sobre los conceptos y su evolución, como resultado de los procesos de enseñanza, será posible entender mejor cómo éstos evolucionan, qué relaciones podemos establecer con el desarrollo de los conceptos científicos y sus formas de representación tanto a nivel didáctico como personal, qué transposiciones didácticas son más frecuentes en la enseñanza y como éstas inciden en la evolución conceptual de los estudiantes.

3

Marco teórico

3. 1. Introducción

Proponemos el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva integral que reúna aportes conceptuales, motivacionales, cognitivos, metacognitivos y lingüísticos. El estudio sobre la evolución de los conceptos es importante para la didáctica de las ciencias en la medida en que permite una mejor comprensión de los procesos de aprendizaje de los conceptos científicos, de su evolución e interacción con los conceptos estudiados en el aula.

Inicialmente presentamos un panorama general de lo que ha sido la investigación sobre el cambio conceptual y sus más significativos aportes desde tres ópticas: la filosofía de las ciencias, las ciencias cognitivas y la didáctica de las ciencias. Posteriormente nos ubicamos en la perspectiva del aprendizaje y evolución de los conceptos científicos con el interés central de identificar los aspectos cognitivos profundos y superficiales de la estructura cognitiva de los estudiantes, los cuales son importantes para determinar sus posibilidades evolutivas.

En el tercer apartado destacamos al menos tres funciones centrales del lenguaje para la didáctica de las ciencias: la comunicativa, la estructurante del pensamiento y la reguladora de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias; nos referimos al papel central que juega el lenguaje en el aprendizaje de los conceptos, específicamente en lo relacionado a su importancia en la evolución de los conceptos científicos, lo cual realizamos desde la perspectiva del análisis del discurso escrito de los estudiantes. Posteriormente hacemos referencia al papel central jugado por aspectos metacognitivos y motivacionales en la evolución conceptual, sin los cuales es impensable el estudio detallado de la evolución conceptual. Por último nos referimos a los aportes más significativos en el campo

conceptual de la respiración los cuales nos sirven como referencia para el análisis del contenido de las conceptualizaciones realizadas por los estudiantes.

3. 2. Visión de la evolución conceptual desde la filosofía de las ciencias.

En el estudio de la evolución conceptual es frecuente encontrar investigaciones y reflexiones encaminadas a relacionar la evolución conceptual individual con la evolución conceptual vista desde la historia de las ciencias. Es común encontrar comparaciones entre las concepciones de los estudiantes y las ideas científicas en diferentes épocas de la historia de las ciencias, (Giordan et al, 1988; Nussbaum, 1989; Nersessian, 1992; Giordan & de Vecchi, 1995). Nuestro principal propósito al referirnos a algunos aspectos de la filosofía de la ciencia es el de enriquecer la comprensión de la evolución conceptual a nivel del aula. Desde esta idea central resaltamos nuestro propósito básico en cuanto a la comprensión de la dinámica de la evolución conceptual.

Un primer acercamiento al estudio de la evolución conceptual nos ubica en el empirismo, desde el cual el conocimiento es adquirido mediante la observación cuidadosa y a través de procesos lógicos. La línea de pensamiento empirista ha tenido sus máximas aplicaciones en la enseñanza con las propuestas de Skinner y Gagné quienes asumen que una enseñanza cuidadosa e inductiva puede garantizar un aprendizaje adecuado. Continuamos nuestro breve recorrido histórico con una idea kantiana que considera que el conocimiento se construye a partir de las estructuras mentales innatas que tiene el individuo. Esta afirmación es importante dada su influencia sobre algunas de las teorías más difundidas acerca de la formación y evolución de los conceptos, las cuales proponen que la estructura de la mente incluye categorías lógico-formales con patrones de desarrollo secuenciales y preestablecidos. Desde este punto de vista la evolución conceptual es producto del desarrollo normal de la persona.

Para Toulmin, la adquisición de conocimientos, y con ellos la evolución conceptual, no se pueden restringir a criterios lógicos. Para este autor la construcción de conocimientos no se inicia con la adquisición de conocimientos atomísticos los cuales generan, al relacionarse, conceptos más complejos por vía inductiva. Tanto la inducción como la deducción vistas individualmente no explican la formación y evolución de los conceptos.

Otro aspecto polémico en el estudio de la evolución conceptual es establecer si éste se da de manera gradual (Toulmin, 1977), o si se propone como revoluciones que causan cambios globales (Kuhn,1971). Toulmin (1977), argumenta que el cambio conceptual nunca se produce de una vez, que es gradual y se da mediante el cambio en los conceptos particulares. Para este autor una teoría adecuada del

cambio conceptual debe explicar tanto la estabilidad conceptual como la evolución conceptual en los mismos términos.

La gran dificultad evidenciada por Toulmin para el estudio de la evolución conceptual reside en que requiere perspectivas de aproximación tanto a nivel representacional como en el ámbito de la acción desplegada con los conceptos científicos. Dentro de esta línea de pensamiento si ubicamos la evolución conceptual sólo como un cambio a nivel del lenguaje, de su estructura proposicional, se corre el riesgo de quedar atrapados en su superestructura lingüística; la comprensión real del significado del concepto científico viene determinada por el uso adecuado que demos al concepto en situaciones reales.

Dentro de la perspectiva toulminiana de la evolución conceptual se sugiere que los estudiantes mantienen elementos de las concepciones antiguas mientras incorporan gradualmente elementos de las nuevas (Toulmin, 1977; Nussbaum, 1989). La evolución conceptual vendría dada por la toma de conciencia gradual de las desventajas de las teorías propias y las ventajas de las teorías rivales.

Sin embargo, se da también la posibilidad de que existan distintos modos de comprender la ciencia que lleven a que diferentes miembros de la comunidad científica aborden nuevas anomalías desde perspectivas teórico-metodológicas diferentes, la tensión aquí generada puede conducir a la imposición de una de las teorías sobre la otra con el consecuente cambio paradigmático (Kuhn, 1971). Dentro de esta postura teórica se concibe la evolución conceptual como un proceso revolucionario que causa cambios globales. En el ámbito de la enseñanza de las ciencias encontramos semejanzas entre el cambio revolucionario propuesto por Kuhn (1971), y el cambio conceptual radical defendido por Carey (1985), y Chi (1992).

La evolución conceptual dentro de la perspectiva lakatosiana sigue un proceso gradual en el cual el planteamiento constante de hipótesis auxiliares permite el mantenimiento de la teoría y su evolución, en lo que Lakatos (1989), ha denominado *programa de investigación*, constituido por una sucesión de teorías con sus reglas metodológicas. Con el planteamiento de las hipótesis auxiliares adecuadas lo que se busca es evitar refutar una teoría. Con base en esta óptica son abundantes los intentos de describir la evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias; se destacan, entre otros, los trabajos de Chi (1992), Posner et al., (1982), Strike & Posner, (1992).

Para Thagard, (1992), una teoría de la evolución conceptual adecuada debe informar de cómo las revoluciones conceptuales pueden ser capaces de describir los mecanismos por los cuales el descubrimiento de nuevos sistemas conceptuales puede construir su propio sistema de nuevos nodos y relaciones; debe explicar además cómo el nuevo sistema conceptual puede reemplazar al antiguo y cómo

los nuevos miembros de la comunidad científica pueden adquirir y aceptar los nuevos sistemas teóricos construidos; en este sentido considera que existen distintos tipos de cambio conceptual, unos más superficiales que incluyen la adición, la eliminación y la reorganización de conceptos y otros más profundos en los que hay re-definición de la naturaleza de las jerarquías. Al igual que con el cambio conceptual radical propuesto por Carey (1985, 1992), Chi (1992) y Vosniadou (1994a), el cambio profundo de Thagard (1992), es el más difícil de suceder y a su vez tiene la ventaja de ser una reorganización conceptual más importante dentro del desarrollo científico.

Giere (1992), propone un modelo cognoscitivo en el cual la ciencia, al igual que el aprendizaje, es el resultado de una actividad cognoscitiva. Por esta razón, para hacer ciencia se requiere *actuar con una meta* empleando la capacidad humana de *representarse mentalmente* lo que se hace y de emitir juicios sobre los resultados de la actuación, (Izquierdo, 2000, pg 40). Entiende una teoría como constituida por dos elementos: la población de modelos y las diversas hipótesis teóricas que vinculan esos modelos con sistemas de la realidad; en este sentido lo encontrado en los libros de texto no es la propia teoría, sino enunciados que definen los modelos que son parte de la teoría. Con este énfasis lingüístico en la definición de una teoría se da mayor atención a los enunciados que definen la población de los modelos y no a los modelos en sí mismos.

Desde esta perspectiva semántica se piensa que es posible usar cualquier lenguaje lo suficientemente rico para hablar del contenido de cualquier ciencia. Una teoría, expresada como un conjunto de acciones en lenguaje formal, tiene un conjunto de modelos de esa teoría. No obstante, entre el lenguaje y la formación de los modelos, éstos son entidades no lingüísticas y pueden ser caracterizados de múltiples formas empleando lenguajes diferentes, lo que permite identificar la teoría con un conjunto de modelos que pueden elegirse en virtud de todas las formulaciones lingüísticas posibles y no con una forma lingüística en particular.

Giere (1992) al igual que Toulmin (1977) apela a una analogía de la evolución biológica para explicar el concepto de evolución conceptual. En términos de Izquierdo (2000), en esta analogía los modelos teóricos o representaciones, evolucionan debido a mecanismos de variabilidad y selección de los mejores y más útiles resultados, proceso en el cual intervienen la experimentación, el lenguaje y la aplicabilidad de los resultados, de tal manera que las teorías de una misma disciplina se pueden encontrar en diferentes estados evolutivos, unas más nucleares y otras más periféricas.

La sola existencia de capacidades cognoscitivas evolucionadas no determina los usos a los que se las destine, los cuales dependen, entre otras cosas, del contexto social. Para Giere una de las posibles causas que tiene una persona para usar un modelo específico, y no otro, frente a un problema determinado, se debe a que

selecciona aquellos modelos con los que más a gusto se siente, aquellos que haya aprendido a usar y haya usado más frecuentemente: esto no supone una concepción relativista de la ciencia, es simplemente tratar de explicar la evolución de la ciencia partiendo del reconocimiento de la gran similitud que hay entre las actividades científicas y otras actividades humanas, especialmente las que dependen en gran parte del uso del lenguaje.

Consideramos que en el aprendizaje de las ciencias y en la evolución de los conceptos científicos el empleo del modelo cognoscitivo de ciencia es válido para nuestra investigación por que: reúne en forma coherente aportes de disciplinas como la filosofía de las ciencias, las ciencias cognitivas y la lingüística; es adecuado para los momentos de emergencia y consolidación del conocimiento científico, sea este individual o social y, por su posibilidad de aplicación a situaciones de aprendizaje en las cuales los conocimientos estudiados se ubican en el límite entre el conocimiento científico y el cotidiano (Izquierdo, 1999).

3. 3. Teorías cognitivas para la formación de los conceptos

En el enfoque cognitivo existen dos tradiciones diferentes que explican la formación de los conceptos: una de naturaleza mecanicista y asociacionista (procesamiento de información), y la otra organicista y estructuralista. La diferencia fundamental entre estas dos tendencias es la unidad de análisis de la que parte cada una. El procesamiento de información, parte de unidades mínimas a partir de las cuales construye la totalidad; dentro de esta tradición un concepto es una lista de rasgos. El estructuralismo cognitivo parte de unidades más molares; al admitir que los conceptos no son listas de rasgos acumulados, sino que forman parte de teorías o estructuras más amplias, el aprendizaje de conceptos sería ante todo el proceso por el cual cambian esas estructuras. El proceso fundamental del aprendizaje sería la reestructuración de las teorías de las que forman parte los conceptos.

Para Pozo (1989), la diferencia fundamental entre los dos enfoques desde la perspectiva del aprendizaje de los conceptos, es que los asociacionistas asumen que quien interpreta la realidad lo hace a partir de sus conocimientos anteriores. Los estructuralistas dicen que no solo se construyen interpretaciones de la realidad a partir de los conocimientos anteriores, sino que también se construyen esos mismos conocimientos en forma de teorías. Al interior de estos dos enfoques se ha desarrollado la investigación psicológica en cuanto a la formación y evolución de los conceptos científicos, en la cual se destacan los aportes de Piaget, Ausubel y Vygotsky, a los cuales nos referiremos a continuación.

3. 3. 1. La formación de conceptos en Piaget

El estudio del cambio y/o desarrollo de los conceptos y de las teorías ha estado soportado en tres conceptos piagetianos de gran importancia: la asimilación, la acomodación y la equilibración. Es desde el desequilibrio entre la asimilación y la acomodación que surge el aprendizaje o el cambio cognitivo.

En cuanto a la formación de los conceptos Piaget se contraponen a la concepción positivista propia de la lógica formal tradicional y de la psicología empírica asociacionista. No desconoce la importancia de la percepción para la formación del concepto, plantea asimismo que éste no se forma por simple abstracción y generalización a partir de los objetos observados. El contenido de los objetos es mucho más amplio que el de las percepciones; de igual manera, las estructuras operantes no pueden deducirse de las perceptivas. Según Piaget, al concepto subyacen las operaciones objetivas y el logro por estos de identidad sistemática y reversibilidad dan al concepto su contenido lógico y su forma a nivel del pensamiento racional (formal). Dentro de esta perspectiva, el conocimiento se da en la interacción real y práctica entre el sujeto y el objeto; el sujeto entiende la naturaleza del objeto cuando actúa sobre éste y lo transforma.

3. 3. 2. La formación de conceptos en Ausubel

Ausubel define los conceptos como “objetos, eventos, situaciones o propiedades que poseen atributos de criterio comunes y que se designan mediante algún símbolo o signo” (Ausubel, Novak & Hanesian, 1989); se forman por abstracción inductiva o por asimilación. Para estos autores, el aprendizaje de conceptos procede fundamentalmente de lo general a lo particular. El contenido de la estructura cognoscitiva del sujeto está jerarquizada de tal manera que los conceptos más generales e indiferenciados se ubican en los lugares superiores de la jerarquía y los más particulares en los lugares inferiores y están subordinados a los primeros. El aprendizaje de nuevos conceptos responde así a la incorporación de nuevos contenidos a la estructura jerarquizada, bien mediante procesos de inclusión o de asimilación.

3. 3. 3. Formación de conceptos en Vygotsky

Para Vygotsky los procesos de aprendizaje no son realizados por los individuos como una exploración solitaria del medioambiente; mas bien, en el niño se da un proceso de apropiación de métodos de acción existentes en su cultura. Esta apropiación es mediada por los símbolos, por las herramientas simbólicas. En cuanto a la elaboración de significados Vygotsky rechaza tanto la postura de los asociacionistas como la de Piaget. La psicología asociacionista propone que los significados están en la realidad y sólo los tenemos que abstraer de ella por

métodos inductivos; para Piaget, los significados son creados individualmente por el niño a partir de sus acciones sensoriomotoras sobre objetos básicamente materiales. Para Vygotsky, los significados provienen del exterior y deben ser asimilados o interiorizados por cada niño.

Si bien, la formación de conceptos requiere del desarrollo de procesos que se han originado en la primera infancia, sólo al llegar a la edad de la pubertad se desarrollan las funciones intelectuales responsables de la maduración de los conceptos. En esta perspectiva teórica se destaca el uso funcional de la palabra como el elemento fundamental e imprescindible para la formación de conceptos; la palabra permite dirigir activamente la atención, analizar, destacar atributos, abstraerlos, y sintetizarlos. Es la palabra, y con ella, el lenguaje el instrumento fundamental de la regulación de la acción y del pensamiento.

Para Vygotsky el curso de desarrollo de los conceptos sigue tres fases:

- formación de cúmulos desorganizados
- formación de complejos
- formación de conceptos

Los cúmulos desorganizados se caracterizan, entre otros aspectos, por proceder según ensayo y error y por la realización de agrupamientos sincréticos que conducen a la obtención de imágenes sincréticas. La formación de complejos está basada en los vínculos derivados de la experiencia inmediata. Un complejo es, básicamente, la agrupación de un conjunto de objetos concretos según vínculos reales entre ellos; en la formación de complejos se da la generalización en múltiples atributos. La formación de los conceptos se basa en relaciones de un solo tipo, lógicamente equivalentes entre sí. En los conceptos los objetos están generalizados sólo en un atributo, reflejan una única conexión entre los objetos, una relación relevante y uniforme.

Los pseudoconceptos, principal tipo de complejos, sirven de enlace entre el pensamiento en complejos y el pensamiento en conceptos, sirven como puente entre el pensamiento concreto y el pensamiento abstracto; se presentan como un obstáculo importante en el estudio científico de los conceptos y a su vez como un momento determinante en el proceso de desarrollo del pensamiento. Es esta misma dificultad la que lleva a la necesidad del estudio profundo del lenguaje y su relación con la formación de conceptos.

Los pseudoconceptos constituyen en algunos casos la forma predominante de conceptualización en algunos adultos, de aquí su gran importancia a nivel educativo. En la enseñanza y aprendizaje de los conceptos científicos, sería viable el reconocimiento de los pseudoconceptos, llegar a identificarlos y conocerlos debe ser el paso inicial en la comprensión de cómo pasa el estudiante de una

forma de pensamiento en pseudoconceptos a una forma de pensamiento en conceptos, propio del conocimiento científico.

3. 3. 3. 1. La formación de conceptos científicos desde la perspectiva vygotskiana

La formación de conceptos científicos supone tanto la generalización de elementos aislados como la capacidad de abstraer, de identificar separadamente los componentes de manera independiente a la realidad dada, requiere por tanto del análisis como de la síntesis, uno y otro son mutuamente dependientes.

Análisis, síntesis y abstracción son la forma fundamental del pensamiento mediante la cual el adolescente da sentido a la realidad que lo rodea. A través de ellos, logra identificar las características de mayor relevancia dentro de un conjunto de atributos a los cuales está vinculada su práctica. Este nuevo énfasis en la abstracción y su vinculación con nuevos rasgos identificados le permitirá al adolescente realizar nuevas síntesis. Este atributo privilegiado pasará a constituirse en el concepto potencial, el cual en su decurso evolutivo conducirá a la formación del concepto científico. En síntesis, el análisis, la síntesis y la abstracción se constituyen en los procesos mentales que permiten identificar relaciones únicas, relevantes y uniformes dentro de un conjunto de objetos, y son estas a su vez las relaciones que caracterizan el concepto científico una vez formado.

Los conceptos surgen cuando se realiza una nueva síntesis abstracta a partir de los atributos que ya han sido abstraídos, síntesis que se convierte en la forma fundamental del pensamiento mediante la cual el sujeto percibe y atribuye sentido a su realidad. No hay coincidencia entre la existencia del concepto y la conciencia que se tenga de este en cuanto a su momento de aparición y su funcionamiento; el análisis de la realidad con ayuda de los conceptos surge antes que el análisis de los propios conceptos (Vygotsky, 1995b). La utilización de los conceptos por parte del adolescente se inicia en el plano de lo concreto, posteriormente pasa al plano de lo abstracto con mediación de la palabra; de ahí la dificultad encontrada en el adolescente cuando se le pide que defina un concepto que cotidianamente emplea.

Dentro de la tradición vygotskiana la formación de los conceptos científicos se inicia con el trabajo sobre el propio concepto en sí, con su definición discursiva y a partir de estos elementos viene la realización de ciertas actividades que suponen el uso consciente de los atributos que definen el concepto. Davidov (1982), identifica tres características en la forma de adquisición de los conceptos científicos:

1. Formación de redes conceptuales entre los conceptos
2. Caracterización de la propia actividad mental
3. Internalización de la esencia del objeto.

Por esta vía el concepto científico formado no se queda en el plano de lo mental; la aplicación de los atributos identificados a la variedad de objetos que ellos representan, permite el tránsito de lo abstracto a lo concreto, del concepto al objeto. Con la adquisición de los conceptos científicos se produce la adquisición del lenguaje científico, este implica la adquisición de un nuevo sistema semántico y de una nueva forma de pensar y ver la realidad.

3. 3. 3. 2. La generalización en la formación de conceptos científicos.

Tradicionalmente la generalización se ha relacionado tanto con el proceso que ella involucra, como con la caracterización de su resultado. En el primer caso implica encontrar algunos atributos estables y repetibles en los objetos y señala a su vez el paso de la descripción de las propiedades de un objeto individual a su aplicación a un conjunto de objetos similares. En el segundo caso, su resultado, hace referencia a la posibilidad del individuo de abstraerse de ciertos rasgos particulares y variables del objeto. Dentro de esta perspectiva tradicional tanto la generalización como el concepto son el resultado de un gran número de hechos, a partir de los cuales surge la idea generalizadora, la cual es nombrada mediante la palabra.

Para el dominio de un concepto se requiere, además del conocimiento de sus atributos (estables y repetibles), saberlo emplear en condiciones concretas, saber operar con él. Este planteamiento es central en los pensamientos de Rubinshtein, (1957) y Davidov (1982), quienes consideran la actividad del pensamiento como un proceso de análisis y síntesis seguido de abstracción y generalización derivadas de los primeros. Para estos autores las principales leyes intrínsecas del pensamiento vienen dadas por las regularidades entre estos procesos y sus interacciones. El pensamiento va desde la misma realidad externa, concreta y no analizada, a la cual nos acercamos a través de los sentidos, hasta la revelación de sus leyes en los conceptos del pensamiento abstracto, y desde estos hasta la interpretación de la realidad. En síntesis, el dominio del concepto así concebido involucra tanto un movimiento de lo concreto a lo abstracto, como también el decurso de lo abstracto a lo concreto. Esta secuencia concreto-abstracto-concreto se evidencia en los diferentes niveles de escolarización.

El proceso ontogenético de la formación de conceptos en el niño, se inicia con las primeras generalizaciones derivadas de la máxima analogía encontrada entre elementos aislados de su experiencia. Son generalizaciones que involucran cierto significado asignado a las palabras; en suma estas generalizaciones se constituyen como actos verbales del pensamiento. En términos de Vygotsky, “la

comunicación presupone necesariamente la generalización y desarrollo del significado del discurso; el significado de la palabra debe considerarse no solo como unidad del pensamiento y del discurso, sino también como unidad de la generalización y de la comunicación, de la relación y del pensamiento” (Davidov, 1982).

Los niños preescolares realizan generalizaciones en el plano de lo sensorial, de la percepción directa; en los primeros años de la educación primaria, en el plano de las representaciones mezclando rasgos sustanciales e insustanciales; los escolares de educación primaria más avanzada, realizan generalizaciones en el plano de las representaciones. Esto les permite identificar, clasificar, sistematizar, aunque no están libres de incluir en la generalización cualidades externas de los objetos. El análisis mental sistemático de los atributos de los objetos y sus relaciones, lleva al adolescente a realizar generalizaciones más centradas en las cualidades internas de los objetos; corresponde a una generalización teórica adecuada al nivel del pensamiento científico. (Davidov, 1982).

Si bien debemos considerar la formación de conceptos como un proceso continuo en el que no es perceptible el paso de los conceptos concretos a los abstractos, conviene precisar que mientras en niños escolares la generalización está más ligada a la percepción, en adolescentes se da como resultado de la deducción a través de las relaciones entre atributos uniformes y estables entre los objetos.

3. 3 4. Formación de conceptos científicos en la Teoría de la Actividad

Desde la teoría de la Actividad la formación de conceptos se estructura según tres principios fundamentales:

1. Considerar la actividad que conduce a la formación del concepto
2. Organizar la actividad que debe realizar el alumno para la asimilación del concepto
3. Organizar la actividad, siguiendo las etapas de formación de los conceptos, sin separar el sistema de características esenciales del proceso.

Desde esta perspectiva teórica un concepto está formado cuando, después de un proceso de elaboración por etapas, se vuelve un proceso mental, generalizado, reducido, automatizado y subconsciente (Talizina, 1988). Significa esto que el alumno ejerce control consciente y deliberado sobre el contenido del concepto el cual hace parte de una estructura jerárquica conceptual.

De lo anterior, se identifica como determinante en la formación de conceptos la actividad desplegada por el individuo; por ella se forman la generalización

científica y los conceptos. Su estructuración racional garantiza al alumno el modelamiento de sus estructuras cognoscitivas, por tal razón debe constituirse en actividad específica del aprendizaje. En términos de Leontiev:

“Todo concepto como formación psicológica es fruto de la actividad. Cabe organizar y cabe estructurar en el alumno una actividad adecuada al concepto y que le sitúe en relación correspondiente con la realidad. No surge la actividad conceptual en el niño porque él domine el concepto, sino que -por el contrario- domina el concepto porque aprende a actuar conceptualmente, porque, -si cabe expresarse así- su práctica misma deviene conceptual” (Leontiev, citado por Davidov, 1982).

Si bien los planteamientos de Vygotsky, Rubinshtein y Leontiev los podemos ubicar más en un plano teórico, los de Galperin los centramos más en el plano didáctico. Para este autor, el punto final en la adquisición de los conceptos no está constituido por su asimilación en el plano de lo abstracto; es su aplicación en el plano de lo concreto, en la resolución de tareas, el aspecto determinante en la comprensión final del concepto. Para el aprendizaje de los conceptos, generalizaciones, conocimientos y habilidades, el niño debe asimilar acciones mentales adecuadas; primero son acciones externas formadas en colaboración y luego acciones mentales internas.

Los cambios operados en cada una de estas características de la acción determinan las etapas del proceso de asimilación. En la etapa del lenguaje externo, este se convierte en portador de todo el proceso, tanto de la tarea como de la acción. El alumno debe orientarse tanto al contenido del objeto como a la expresión verbal; en la medida en que los símbolos y signos son asimilados en una actividad productiva conjunta, adquieren nuevos significados compartidos. Hacia el final de esta etapa la acción comienza a ejecutarse con la omisión de algunas operaciones, sin apoyo externo alguno; así la acción se orienta lentamente hacia la lógica de los conceptos. De esta manera comienza la generalización.

Galperin considera el lenguaje como el instrumento fundamental de la interiorización; permite separar la acción, la imagen y la operación. Sirve en la primera y segunda etapa de la asimilación de los conceptos, de sistema de indicaciones derivadas directamente de la percepción. En estas etapas la tarea del alumno es comprender y dominar los fenómenos más que las palabras; en la tercera etapa, “el lenguaje oral se convierte en portador independiente de todo el proceso, tanto de la tarea como de la acción” (Galperin 1959, citado por Beltrán & González, 1997).

3. 4. Visión de la evolución conceptual desde la ciencia cognitiva

El estudio de la evolución conceptual desde las ciencias cognitivas ha estado en auge en las últimas dos décadas. Sus principales campos de investigación se centran en el estudio sobre la formación de los conceptos naturales, la formación y evolución de los conceptos científicos y la inteligencia artificial. Orientamos nuestra reflexión a la evolución de los conceptos científicos en el ámbito de la enseñanza de las ciencias.

Una mirada retrospectiva acerca de la evolución conceptual nos lleva a reconocer que no existe consenso en cuanto a su naturaleza (Carey, 1985, 1992; Chi, 1992; Chi, Slotta & Leeuw, 1994; Franco, et al. 1999; Giere, 1992; Gutierrez, 1996, 2000; Lakoff, 1987; Posner et al. 1982; Pozo, 1999; Rosch, 1978; Thagard, 1992; Vosniadou, 1992, 1994a, 1998, Vygotsky, 1995b). Sin embargo hay consenso generalizado en cuanto a la necesidad de lograr el cambio conceptual, al igual que en reconocer la gran dificultad de comprender cómo ocurre, (von Aufschnaiter & Niedderer, 1998; Dagher, 1994; diSessa & Sherin, 1998; Tyson et al. 1997; Siegler, 1995), y en cómo lograr que la didáctica de las ciencias lo potencie, (Buckley et al. 1997; Driver et al. 1989; Giordan & de Vecchi, 1995, Giordan et al, 1988; Moreira, 1994; Greca & Moreira, 1998a; Osborne & Freyberg, 1991; Schnotz & PreuB, 1997; Pozo, 1989, 1999, entre otros).

La evolución conceptual desde la perspectiva cognitiva considera, en primer lugar, la existencia de *ideas* en los estudiantes, las cuales se caracterizan por ser relativamente coherentes, comunes en distintos contextos culturales y difíciles de cambiar y, en segundo lugar, la existencia del conocimiento científico; estas dos formas de conocer definen diferentes formas de concebir el cambio conceptual (Pozo, 1999, Thagard, 1992). En el ámbito de la enseñanza de las ciencias existe acuerdo generalizado sobre la importancia de favorecer el cambio de estas *ideas*, de tal manera que se *acerquen* más a los conocimientos científicos. Pozo (1999), menciona tres hipótesis que tratan de explicar la interacción que se genera entre las concepciones alternativas y el conocimiento científico: la compatibilidad, la incompatibilidad y la independencia entre estos dos tipos de conocimiento. A continuación nos referiremos a cada una de estas perspectivas del estudio de la evolución conceptual.

Quienes consideran que existe *compatibilidad* entre las ideas de los estudiantes y el conocimiento científico (Carey, 1985, 1992), aceptan que tanto los conceptos como las creencias y las teorías son representaciones mentales. Desde esta posición racionalista se supone que la mente humana tiene maneras innatas e inmodificables de organizar perceptiva y conceptualmente el mundo. Para estos autores la evolución conceptual puede involucrar cambios mínimos de las ideas iniciales, las cuales permanecen siempre en el núcleo de las representaciones del adulto. Según Carey para que se produzca un verdadero cambio conceptual se deben producir simultáneamente cambios en el dominio de los fenómenos explicados, en la naturaleza de las explicaciones aceptadas y en los conceptos

individuales que constituyen el núcleo de la teoría. Reconoce a su vez que los conceptos pueden cambiar a lo largo de muchas dimensiones y dentro de cada dimensión existirían muchos grados de diferenciación conceptual.

Considerar que tanto el conocimiento científico como el cotidiano tienen la misma naturaleza conduce a pensar que los científicos y los estudiantes piensan de la misma manera cuando se enfrentan a un problema. Esta visión del cambio conceptual ha tenido influencia importante en la enseñanza principalmente desde las propuestas de corte piagetiano, en las cuales se ha intentado mostrar cómo los niños construyen categorías básicas del pensamiento de manera gradual hasta alcanzar el estadio de pensamiento formal, el cual puede considerarse como una descripción psicológica del pensamiento científico (Pozo, 1999). Desde esta perspectiva se ve el cambio conceptual como innecesario en el sentido de que aprender sería sinónimo de acumular conocimientos o experiencias sobre la base de los conceptos ya existentes.

Quienes defienden la hipótesis de *incompatibilidad* entre el conocimiento cotidiano y el científico reconocen diferentes categorías a las cuales pertenecen los conocimientos científicos y los cotidianos. Para Chi 1992, estas categorías pueden ser *materia, eventos y procesos*; concibe el cambio conceptual básicamente como el cambio de significado de un concepto, es decir, como el cambio de categoría a la cual el concepto es asignado inicialmente. La autora diferencia entre un cambio conceptual que ocurre *dentro* de una categoría ontológica y otro que sucede *entre* categorías ontológicas; llama al primero cambio conceptual y al segundo cambio conceptual radical. En este planteamiento teórico la evolución conceptual *dentro* de categorías ontológicas requiere procesos diferentes de los necesarios para la evolución conceptual *entre* categorías ontológicas, de igual manera siguen procesos de aprendizaje distintos. Para la autora esta teoría permitiría explicar la dificultad observada para el logro de ciertos aprendizajes en dominios como la física y la química, debido a que muchos conceptos estudiados pertenecen a categorías ontológicas diferentes de aquellas que constituyen las concepciones alternativas de los estudiantes.

Chi propone que los conceptos que requieren de la evolución conceptual radical sean enseñados en sus dominios específicos, y exige poner énfasis en la ontología completa de la categoría del concepto. La enseñanza basada en amplias categorías del conocimiento le permitiría a los estudiantes el establecimiento de puentes que vinculen nuevos dominios de información de conceptos científicos con el árbol ontológico apropiado; de esta manera el concepto no tendría los errores característicos de otras categorías ontológicas. Esto permitiría conservar las concepciones alternativas de los estudiantes, pues son adecuadas para predecir los fenómenos cotidianos. De esta forma se desarrollarían de manera independiente unas estructuras de conocimiento para los conceptos científicos y otras para los conceptos cotidianos.

La explicación que da Chi del cambio conceptual en términos del paso de un concepto de una categoría ontológica a otra, no explica, según Vosniadou (1994a), por qué mencionado cambio es difícil de producir o, por qué unas recategorizaciones se producen y otras no. Además llama la atención sobre cierta arbitrariedad en las categorías empleadas. Para Pozo (1999), la dificultad para el cambio conceptual radical propuesto por Chi puede deberse más a la dificultad de las personas para interpretar los fenómenos como interacciones en situaciones de equilibrio dinámico que por la propia organización ontológica.

Vosniadou & Brewer (1987, 1992, 1994), plantean que la mente humana opera sobre la base de un número pequeño de constituyentes dentro de un dominio específico, dichos componentes se organizan como un todo en un modelo teórico intuitivo en el dominio específico, del cual no es consciente el sujeto. Este modelo ingenuo es construido desde la infancia y está constituido por ciertas presuposiciones ontológicas y epistemológicas fundamentales. Para Vosniadou existe incompatibilidad entre las teorías científicas y las teorías de dominio o modelos mentales de los estudiantes, debido a la imposición de ciertos supuestos (ontológicos y epistemológicos) por la teoría marco al sistema de creencias de los alumnos, (ver figura 3.1).

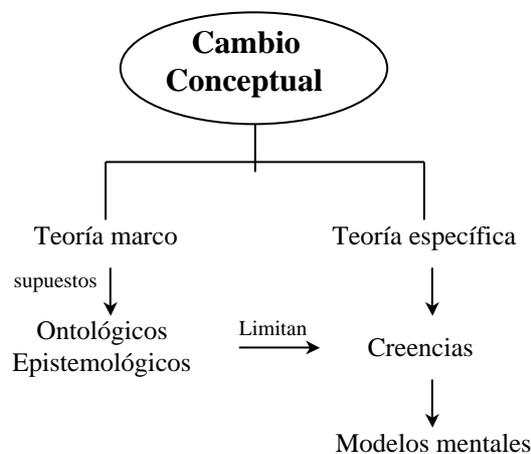


Figura 3. 1: Modelo de Cambio Conceptual propuesto por

Para Vosniadou la evolución conceptual procede a través de modificaciones graduales de un modelo, bien por la vía acumulativa o por la del cambio (Vosniadou, 1994a). La vía acumulativa implica simplemente la adición de nueva información a la ya existente. La vía del cambio puede involucrar cambios en creencias individuales, en la estructura relacional de una teoría marco o a nivel de un modelo teórico; este último es considerado como el cambio conceptual mas difícil, debido a que representa sistemas coherentes de explicación basados en la

experiencia cotidiana y con muchos años de consolidación, este cambio se requiere cuando la información que se va a aprender es inconsistente con las creencias o presuposiciones existentes en el sujeto.

Otros estudios afirman que un alumno puede tener varios modelos alternativos, cada uno de los cuales es estable en el tiempo y puede ser aplicado de manera coherente a través de un amplio rango de fenómenos; esto lleva a considerar la posibilidad de coexistencia del conocimiento previo con el científico (Duit et al. 1998; Pfundt & Duit 1998; Schnotz & PeuB, 1997). Dentro de esta perspectiva se considera que el conocimiento científico es *incompatible* con el conocimiento cotidiano y, en consecuencia, la evolución conceptual estaría íntimamente ligada al contexto. Una de las tesis que llevó al planteamiento de esta nueva hipótesis del cambio conceptual se fundamentó en la gran estabilidad de las concepciones alternativas, lo que llevó a considerar que tratar de eliminarlas era difícil e innecesario, (Claxton, 1984; Pozo et al., 1992), debido a su valor pragmático y a su carácter fenomenológico y adaptativo. Según esta hipótesis tanto las concepciones alternativas como las científicas se activarían según el contexto. Esta doble estructura del conocimiento es evidente para Viennot (1979), cuando compara el comportamiento de los científicos en contextos cotidianos y científicos.

Taber (2000), piensa que este puede ser un argumento para considerar la naturaleza múltiple de las concepciones de los estudiantes como una clave importante para modelar el desarrollo conceptual. Defiende la idea de que los estudiantes pueden tener múltiples concepciones las cuales son estables e internamente coherentes y que pueden aplicar a un rango amplio de fenómenos, lo que es reconocido por Vosniadou (1992), quien demuestra que el conocimiento conceptual no está fragmentado e inconexo, al parecer los estudiantes tratan de hacer síntesis coherentes entre su experiencia cotidiana y la información que reciben de los adultos. Esta perspectiva teórica de los marcos múltiples ha recibido aportes recientes que destacan las dimensiones afectiva (Pintrich et al. 1993), sociohistórica (Magnusson et al. 1997) y sociocultural del aprendizaje (O'Loughin, 1992), y la relación con la evolución conceptual en diferentes contextos de aprendizaje.

El reconocimiento de estos contextos específicos llevó a Caravita y Hallden (1994) a argumentar que las dificultades de los estudiantes para la comprensión de los conceptos científicos pueden deberse no a la dificultad de reemplazar las ideas antiguas por las nuevas sino a un problema de conceptos incluidos en contextos situacionales específicos; desde esta visión estos autores consideran la evolución conceptual como un proceso de diferenciación e integración entre varios contextos. Así, el significado de un concepto depende en gran medida de los diferentes patrones de relación en los cuales se vincula el concepto.

Pozo (1999) propone que la activación contextual de teorías alternativas no es incompatible con la necesidad de la evolución conceptual, considera que en lugar de separar o independizar las teorías científicas de las cotidianas, éstas están conectadas mediante procesos metacognitivos. Plantea este autor que en la evolución conceptual se requiere construir estructuras conceptuales más complejas a partir de otras más simples y posiblemente establecer usos diferenciales según los contextos de aplicación de las diferentes teorías. Considera que en lugar de promover conflictos cognitivos, entendidos como el contraste empírico entre modelos con la realidad, se debe ver la evolución conceptual como derivada de promover y resolver conflictos conceptuales mediante la explicitación y el contraste de diferentes modelos.

El listado de restricciones que se deben superar para lograr la evolución conceptual no se reduce a las propuestas por Vosniadou 1994a, Vosniadou & Brewer 1987. Se requiere superar restricciones de orden metacognitivo (Gunstone, 1994; Gunstone & Mitchell, 1997; Vosniadou 1994a, White, 1994; White & Mitchell, 1994) de modelos de pensamiento, (Gutierrez, 1996, 2000; Pozo, 1999), del lenguaje, (Leal, 1998; Lemke, 1997, von Aufschnaiter & Niedderer, 1998; Jorba & Sanmartí, 1996, Sanmartí, 1996; Sutton, 1997) y metodológicas (Petri & Niedderer, 1998; Jones, Carter & Rua, 2000).

3. 5. Visión de la evolución conceptual desde la didáctica de las ciencias.

Comprender la evolución conceptual desde la didáctica de las ciencias conlleva a centrarnos básicamente en los siguientes interrogantes: ¿Cómo se produce la evolución conceptual de los estudiantes en el aula? y ¿Qué factores la favorecen? Tratar de responder a estas preguntas no es fácil, pues implica retomar valiosos aportes de diferentes campos del saber e integrarlos en explicaciones y/o comprensiones que den cuenta de lo sucedido en el aula.

Desde la didáctica de las ciencias se destacan los trabajos pioneros de Posner et. al (1982), Viennot, (1979) y Driver, (1985); estos dos últimos orientados fundamentalmente al reconocimiento de las concepciones previas en los estudiantes, punto de partida de los estudios encaminados a profundizar en el conocimiento integral de los elementos que propician u obstaculizan la evolución conceptual .

3. 5. 1. Modelo del cambio conceptual de Posner, Strike, Hewson & Gertzog (1982).

El modelo de cambio conceptual más ampliamente desarrollado en la didáctica de las ciencias fue propuesto por Posner, Strike, Hewson & Gertzog (1982); este modelo inicial consideraba que las concepciones alternativas de los estudiantes estaban claramente articuladas y expresadas simbólicamente, daba poca atención a cómo interactuaban las concepciones alternativas con la *ecología conceptual* del estudiante y suponía el cambio conceptual básicamente como radical. Posteriores re-elaboraciones del modelo (Strike & Posner, 1992) llevaron a considerar, entre otros aspectos: que tanto las concepciones alternativas como las científicas hacen parte de la *ecología conceptual* en la que interactúan con otros factores epistemológicos, sociales, personales e institucionales; se acepta a su vez la existencia de diferentes modos de representación y distinto grado de articulación entre las concepciones y, se consideran como aspectos centrales de esta reformulación del modelo concebir el cambio conceptual de manera evolutiva e interactiva.

Según a Gutiérrez (2000), este modelo del cambio conceptual tiene básicamente dos componentes: a) las *condiciones* que tienen o deben tener las concepciones de la persona (que sean inteligibles, plausibles y fructíferas); y b) su propia *ecología conceptual*, es decir, el contexto en el cual el cambio conceptual ocurre. La autora identifica como algunos de los problemas centrales de este modelo la dificultad del estudiante para juzgar cual de las dos teorías, la antigua o la nueva, es más fructífera; señala además lo difícil que es adecuar estrategias didácticas que promuevan el cambio conceptual, dada la dificultad de conocer la *ecología conceptual* del estudiante y la falta de análisis profundos que nos permitan comprender los factores que hacen que una concepción cambie o se mantenga.

Una consecuencia natural e importante de los estudios sobre el cambio conceptual ha sido la elaboración de posibles secuencias de aprendizaje. Duit et al. 1998, consideran que los procesos de aprendizaje de los estudiantes muestran en términos generales una secuencia de concepciones que va de las ideas cotidianas a las científicas, observan estos autores la facilidad con la que se dan ciertas *desviaciones conceptuales* las cuales describen como estados intermedios. Estas secuencias de conceptos (Tytler, 1998a), las secuencias de modelos (Frederiksen, White & Gutwill (1999), las secuencias de analogías (Gentner & Gentner, 1983) y, en general, los estudios de la evolución conceptual desde la perspectiva del *paso a paso* dan prioridad a aspectos conceptuales y no consideran la naturaleza multifacética de los aprendizajes y a su vez no permiten descripciones a nivel micro de la dinámica del aprendizaje en el aula, olvidando, al parecer, que el aprendizaje no es sólo el reemplazo de ideas viejas por nuevas, sino que éstas sólo hacen parte de un proceso en el que las concepciones sobre fenómenos específicos son sólo uno de sus componentes.

3. 5. 2. Otras dimensiones en el estudio de la evolución conceptual

Es claro que en el estudio del cambio conceptual los aspectos cognitivos han recibido mayor atención de parte de los investigadores, quienes se centraron básicamente en determinar si el cambio es radical (Kuhn, 1971; Carey, 1985, 1992) o es gradual (Toulmin, 1977; Strike & Posner, 1992; Posner et al 1982). En los dos casos los estudios profundizaban principalmente en los aspectos racionales del aprendizaje. No obstante el rigor metodológico y la riqueza de los estudios inscritos en estas dos tendencias, es claro que sus resultados no han permitido comprender el proceso de la evolución conceptual.

Con el reconocimiento de la importancia de las creencias y motivaciones de los estudiantes y de cómo se consideran ellos mismos como aprendices se abre una nueva perspectiva en el estudio del cambio conceptual en la cual se reconoce la importancia de aspectos afectivos y sociales (Pintrich, Marx & Boyle, 1993) y se destaca el papel potencial de los objetivos, motivaciones, intereses y procesos de control que tienen los estudiantes sobre sus propios procesos de evolución conceptual. De igual manera, recientes investigaciones muestran que la evolución conceptual difícilmente puede explicarse y comprenderse desde la única referencia a aspectos conceptuales (Caravita & Hallden, 1994; Chin & Brown, 2000; Tytler, 2000; White, 1994).

Asumir el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva holística, que reúna además de los importantes logros provenientes del énfasis cognitivo, las dimensiones sociohistórica (Vygotsky, 1995b; Magnuson, 1997), afectiva (Pintrich, et al 1993; Pozo y Gómez, 1998) y sociocultural del aprendizaje (O'Loughin, 1992), requiere explorar nuevas metodologías de investigación y reelaborar los marcos teóricos existentes con el propósito de que den cabida a los nuevos datos empíricos. Destacamos los estudios microgenéticos (Siegler, 1995) y las investigaciones que tienen en cuenta la naturaleza situada del conocimiento (Hedegaard, 1998); mencionadas metodologías de investigación parecen ser útiles para lograr mejores comprensiones acerca de cómo sucede la evolución conceptual. Su aplicación en el campo educativo ha permitido evidenciar la complejidad del estudio de la evolución conceptual.

Sin lugar a dudas uno de los legados importantes de las investigaciones sobre los conceptos dentro de la perspectiva sociohistórica del aprendizaje (Vygotsky, 1995a, 1995b) fue reconocer la influencia de factores contextuales en la formación y evolución de los conceptos científicos. De igual manera, esta diferente perspectiva en el estudio de los conceptos científicos y de la evolución conceptual permite establecer relaciones entre el conocimiento individual y el social.

Estudios recientes enfatizan en la necesidad de investigar la evolución conceptual desde una perspectiva integral que reúna, entre otros, aspectos conceptuales, metodológicos, cognitivos, lingüísticos y metacognitivos. El empleo de estos *marcos multidimensionales* da valiosas herramientas para el estudio de la evolución conceptual en el aula. Con éste propósito Tyson, Venville, Harrison & Treagust, (1997) y Venville, Treagust (1998), integran el modelo del cambio conceptual (Posner et al. 1982), las teorías marco (Vosniadou, 1994), la perspectiva de las categorías ontológicas (Chi et al. 1994) y la perspectiva motivacional (Pintrich, et al. 1993). Encuentran estos autores que es posible una comprensión holística de la evolución conceptual la cual puede ser más útil para la didáctica de las ciencias. Concluyen sugiriendo que el cambio conceptual puede ser visto a través de tres lentes: ontológico, epistemológico y socio-afectivo.

De las diferentes perspectivas mencionadas para el estudio de la evolución conceptual podemos identificar algunos aspectos centrales sobre los cuales hay acuerdo generalizado, tales como:

- La existencia de estructuras conceptuales iniciales. En términos generales se reconoce cierta consistencia interna de las estructuras de conocimiento iniciales en dominios específicos, que pueden ser muy diferentes de las estructuras conceptuales en otros dominios, al igual que las estructuras conceptuales que caracterizan el pensamiento adulto en el dominio en cuestión.
- Diferentes tipos de cambio conceptual y reconocimiento de una gran flexibilidad cognitiva. En términos generales se acepta la evolución conceptual normal/superficial dentro de dominios específicos, así como también se comparte la gran dificultad de lograr cambios conceptuales profundos/radicales.
- Cierta acuerdo, aun emergente, que reconoce la influencia de variables situacionales, sociohistóricas, lingüísticas y motivacionales sobre la reestructuración/cambio de las concepciones iniciales.
- El estado actual de la investigación en este campo del saber permite comprensiones puntuales y tentativas sobre los procesos que conducen al cambio.
- Mantener vínculos relativamente estrechos entre la evolución conceptual y la epistemología de las ciencias, la lingüística y las ciencias cognitivas.

Los pocos acuerdos antes citados en el estudio de la evolución conceptual, visto desde la didáctica de las ciencias, nos llevan a pensar de manera natural en algunos de los diferentes aspectos sobre los cuales en la actualidad no hay consenso:

- En cuanto a la forma en que se da el cambio o la evolución conceptual en dominios específicos de las ciencias.

- Sobre posibles comprensiones holísticas de los procesos que conduce a la evolución conceptual, bien por razones de insuficiencia en desarrollos teóricos o por las dificultades metodológicas que implica su estudio.
- Poco acuerdo sobre qué es lo que cambia cuando se da la evolución conceptual y por qué se dio tal cambio. Igualmente queda poco claro cuáles son los aspectos que deben ser considerados para lograr el cambio.

Por último queremos mencionar la diversidad de metodologías de investigación encaminadas a profundizar en esta temática. Se destacan entre otros los tradicionales estudios test-postest, (los cuales difícilmente darían cuenta del proceso que involucra la evolución conceptual), los estudios sobre aprendizaje y cognición situada, los estudios microgenéticos y los centrados en el desequilibrio cognitivo y sociocognitivo.

3. 6. Perspectiva multidimensional en el estudio de la evolución conceptual en la didáctica de las ciencias.

Proponemos el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva holística que integre aspectos conceptuales, cognitivos, metacognitivos, lingüísticos y motivacionales, (ver figura 3.1). Desde la perspectiva cognitiva valoramos la necesidad de profundizar en el conocimiento de los elementos cognitivos que propician o no el logro de la evolución conceptual, en este sentido identificamos algunos aspectos superficiales y profundos de la estructura cognitiva de los estudiantes (Niedderer & Schecker, 1992; von Aufschnaiter & Niedderer 1998), en las diferentes dimensiones estudiadas.

Desde la perspectiva metacognitiva destacamos la importancia del conocimiento de los procesos de aprendizaje de los estudiantes, (White & Mitchell, 1994; Gunstone & Mitchell, 1997) y, de manera específica, la forma como regulan sus producciones textuales, (Sanmartí, Jorba e Ibañez, 1997). Desde la óptica lingüística consideramos importante integrar el estudio del discurso escrito de los estudiantes a los procesos de evolución conceptual, centrándonos en el análisis del contenido y la coherencia de los textos escritos por los estudiantes. Desde la esfera motivacional destacamos la necesidad de integrar los intereses y motivaciones de los estudiantes frente al aprendizaje de las ciencias en el estudio de la evolución conceptual.

Esta concepción de la evolución conceptual parte del reconocimiento de los siguientes supuestos provenientes de muy diversos campos del saber, así como de distintas corrientes de pensamiento:

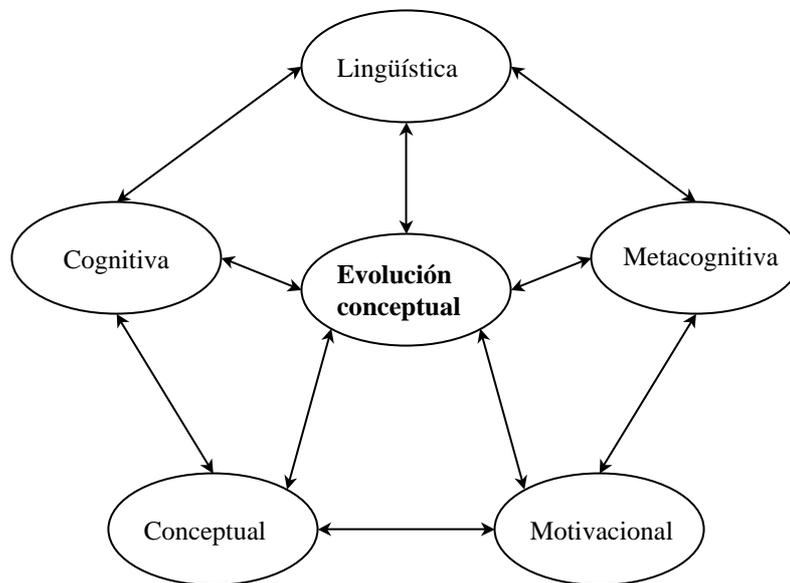


Figura 3. 1: Propuesta para el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional que integre aportes conceptuales, cognitivos, lingüísticos, metacognitivos y motivacionales.

1. Los estudiantes generan continuamente aprendizajes sobre la base de sus propias acciones, percepciones y conocimientos anteriores.
2. La perspectiva multidimensional en el estudio de la evolución conceptual integra puntos de vista de la filosofía de las ciencias, de las ciencias cognitivas, de la lingüística.
3. Mediante el análisis del discurso (escrito) de los estudiantes es posible investigar los procesos de evolución conceptual.
4. El conocimiento de los procesos cognitivos de los estudiantes solo es posible a partir del estudio profundo de las acciones por ellos realizadas, a partir de sus contribuciones verbales y no verbales.
5. Los condicionantes culturales y los múltiples usos del lenguaje son fundamentales en la construcción y en la evolución conceptual.
6. Para que la construcción de conceptos y la evolución conceptual sean significativas debe haber conciencia y control consciente del proceso que condujo al cambio y de los logros alcanzados con él, es decir, el desarrollo de habilidades metacognitivas y autorreguladoras son cruciales para el aprendizaje de los conceptos científicos y para la evolución conceptual.

3. 6. 1. El modelo cognoscitivo de ciencia y la compatibilidad entre el conocimiento cotidiano y el científico.

Consideramos que en el estudio de la evolución conceptual se pueden integrar aportes del modelo cognoscitivo de ciencia con la posibilidad que tiene el estudiante de mantener diferentes concepciones o modelos explicativos de los fenómenos que observa o que analiza. Dentro de los aspectos que nos llevan a proponer la integración entre la evolución conceptual citamos:

1. Los conceptos científicos y los cotidianos pueden pertenecer a categorías ontológicas diferentes, lo cual puede demandar para su aprendizaje caminos diferentes relacionados con su profundidad y naturaleza.
2. La inexistencia de modelos explicativos únicos definidos racionalmente. Frente al aprendizaje de diferentes puntos de vista sobre un fenómeno, los estudiantes interpretan el hecho a partir de sus propios marcos conceptuales y procedimentales.
3. En nuestro caso específico, aceptamos que los estudiantes tienen un conjunto de modelos explicativos de la respiración los cuales pueden activar de manera independiente frente a las diferentes situaciones que se le presentan. Cada uno de estos modelos es adecuado para representar un conjunto determinado de fenómenos y para actuar sobre ellos.
4. La evolución conceptual vendría determinada por el empleo de modelos explicativos en los cuales se establezcan relaciones más significativas entre los hechos y las teorías de los estudiantes.
5. El establecimiento de relaciones de semejanza y de diferencia entre los hechos y las distintas teorías de los estudiantes son importantes en el proceso de evolución conceptual en la medida que permite emplear diferentes modelos explicativos de manera más significativa según distintos contextos.

3. 6. 2. Elementos profundos y superficiales de la estructura cognitiva de los estudiantes como el resultado de la integración del modelo cognitivo de ciencia y la multidimensionalidad en el estudio de la evolución conceptual.

El estudio de la evolución conceptual desde la perspectiva del modelo cognoscitivo de ciencia parte del reconocimiento de diferentes modelos explicativos de los estudiantes frente a un hecho determinado. En este proceso es importante reconocer que en la elaboración de los modelos explicativos intervienen tanto la estructura cognitiva individual del estudiante como el contexto en el cual este se encuentra. La evolución conceptual vendría determinada por las nuevas construcciones cognitivas elaboradas a partir del contexto de la situación y de los elementos cognitivos estables del sujeto.

Lograr identificar los elementos cognitivos estables y las construcciones superficiales de los estudiantes al interior de conjuntos de modelos que expliquen los hechos, nos puede ayudar a pensar en posibles procesos de evolución conceptual que logren explicaciones más coherentes y significativas según los diferentes contextos. Lo anterior lleva a reconocer que las explicaciones de los estudiantes son más o menos significativas según el contexto en el cual éstas se elaboran. Siendo así, consideramos importante identificar algunos elementos profundos que constituyen la estructura cognitiva de los estudiantes, a partir de los cuales se elaboran las explicaciones que ellos realizan.

1. El aprendizaje de los conceptos científicos debe verse como el desarrollo y construcción de procesos, así como el desarrollo de elementos cognitivos estables. Se debe considerar el cambio como la esencia del desarrollo cognitivo.
2. La estructura cognitiva está determinada por el contexto y por las propiedades del sistema cognitivo individual.
3. Identificar los elementos cognitivos estables de los estudiantes, los cuales comprenden conceptos, habilidades cognitivo-lingüísticas, intereses y motivaciones, nos proporciona herramientas importantes para el planeamiento de actividades de enseñanza y aprendizaje.

En las páginas siguientes desarrollamos los principales elementos teóricos que fundamentan la propuesta multidimensional del estudio de la evolución conceptual en didáctica de las ciencias aplicada a este trabajo.

3. 7. Aspectos cognitivos en la evolución conceptual

3. 7. 1. El cambio conceptual y los enfoques profundo y superficial del aprendizaje

Niedderer & Schceker (1992) piensan que los datos empíricos apoyan, de una parte, la existencia de marcos conceptuales estables y coherentes, y de otra, reflejan la naturaleza fragmentaria de ciertos conocimientos individuales al interior de dominios específicos del conocimiento. Consideran que en el sistema cognitivo de un alumno co-existen diferentes concepciones, (Petri & Niedderer, 1998) con distintos grados de coherencia, integración y seguridad.

Definen el aprendizaje como el cambio de los elementos estables de un sistema cognitivo constituido por una estructura profunda y por otra superficial (Niedderer & Schecker, 1992; von Aufschnaiter & Niedderer 1998). Para estos autores, las construcciones superficiales son las ideas, predicciones, observaciones y explicaciones y los elementos cognitivos estables son las concepciones, intereses

cognitivos, modelos de pensamiento y elementos del lenguaje. La estructura cognitiva viene determinada por el contexto de la situación y por las propiedades del sistema cognitivo individual.

Encontramos coincidencia entre los elementos profundos y superficiales descritos por von Aufschnaiter & Niedderer con la caracterización realizada por Biggs (1987) y Marton (1983) para describir los enfoques profundo y superficial del aprendizaje. En esencia, el enfoque profundo se relaciona con una motivación intrínseca e interés en el contenido de la tarea; el estudiante personaliza la tarea, le da significado (White & Gunstone, 1992), la relaciona con sus ideas y experiencias previas. Cuando los estudiantes emplean un enfoque profundo de aprendizaje producen sus ideas más espontáneamente, dan explicaciones más elaboradas las cuales describen mecanismos y relaciones causa efecto, hacen preguntas orientadas a encontrar explicaciones, predicciones, causas, o a resolver discrepancias en el conocimiento, su lenguaje es más preciso y con referentes específicos; sus explicaciones funcionan como modelos o miniteorías que permiten el enlace entre el nivel macro y el micro, (Chin & Brown, 2000). Son estudiantes más constantes en el seguimiento de una idea de manera sostenida, pueden trabajar sobre sus propias ideas en lugar de hacerlo sobre las ideas de los demás.

Quienes emplean un enfoque superficial presentan motivación extrínseca o instrumental, perciben la tarea como una obligación, tienden a memorizar hechos específicos y a reproducir procesos, tienen además una visión particular y aislada de las tareas. Sus explicaciones suelen ser reformulaciones de las pregunta realizadas, una especie de *caja negra* (Chin & Brown, 2000; Olsher & Beit, 1999), que no hace referencia a mecanismos o descripciones microscópicas sino sólo referidas a lo visible; su pensamiento es más secuencial, pasan de una idea a otra sin sentido de direccionalidad, las ideas parecen aisladas y tienen mayor dependencia del recuerdo y del conocimiento factual; su lenguaje es más vago.

3. 8. Aspectos lingüísticos en la evolución conceptual

3. 8. 1. El lenguaje y la formación de los conceptos científicos

Para la didáctica de las ciencias la importancia que en la actualidad tienen los estudios acerca del lenguaje reside en una amplia gama de aspectos dentro de los que destacamos dos: primero, sus funciones centrales en cuanto a vía comunicativa privilegiada dentro del campo educativo y, segundo, como mediador y regulador del desarrollo del pensamiento de los individuos. En las páginas siguientes resaltamos la importancia y necesidad del estudio del lenguaje relacionado con los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias; para éste propósito proponemos inicialmente centrarnos en el estudio de la función

comunicativa del lenguaje, posteriormente nos dedicamos al estudio de la función semiótica del lenguaje y concluimos con algunos tópicos sobre el lenguaje como regulador de diferentes procesos centrales en la didáctica de las ciencias.

3. 8. 1. 1. Función comunicativa del lenguaje.

Tradicionalmente se ha presentado el lenguaje como un medio para hacer descripciones, para explicar el mundo tal como es, como un informe “objetivo”, independiente de los seres humanos, (Sutton, 1997). En estas descripciones el significado dado a cada una de las palabras empleadas tiene poca o ninguna variación, llegándose a reducir casi por completo a su definición. Desde esta perspectiva tradicional la ciencia se considera como un archivo de hechos y el lenguaje como un sistema de etiquetaje de esos hechos, cuya función central es la de transmitir ciertos conocimientos.

En el ámbito de la didáctica de las ciencias mencionada concepción del lenguaje, y por extensión de la comunicación, nos adentra en modelos enseñanza transmisionistas en los que se entiende por conocimiento científico algo objetivo, inmutable, neutral, exacto y difícil de obtener. De forma similar se entiende por ciencia escolar, aquella basada en la identificación, descripción y nombramiento de conceptos, los cuales se pueden adquirir según un orden creciente de dificultad bajo criterios acumulacionistas.

Una visión diferente del lenguaje nos lleva a reconocerlo como un instrumento para poner a prueba nuestras ideas, para predecir de alguna manera lo que va a suceder y para interpretar y dar sentido a las diferentes situaciones en las cuales participamos. Desde esta perspectiva el lenguaje, dentro de una comunidad determinada, además de vocabulario y gramática es un sistema de recursos para crear significados, es una semántica, (Luria, 1984, Vygotsky, 1995 a y b, Lemke, 1997, Sutton, 1997).

En este sentido el lenguaje es algo más que “hablar”, situación en la cual el significado de lo que se dice depende tanto de las palabras o conceptos utilizados como del contexto en el cual se usen y de la forma como se expresen. En este proceso de construcción de significados existen características ilocutivas mediante las cuales se transmiten las intenciones del habla y a través de las cuales el lenguaje acelera la interpretación del contexto en el cual se produce la comunicación. (Bruner & Haste, 1990).

El lenguaje como herramienta simbólica crea visiones del mundo, al hacerlo puede imponer significados compartidos y compartibles en sus construcciones. Para Berger y Luckman (1984), el lenguaje, tanto en su léxico como en su sintaxis, es el portador de las categorías culturales en las cuales se divide el

mundo; dado esto, la realidad es socialmente construida, es construida de nuevo por cada individuo a través del uso del lenguaje. Con la aparición del lenguaje como un sistema de códigos que designan objetos, acciones, cualidades y relaciones, el hombre adquiere una nueva dimensión de la conciencia (Luria, 1984). En síntesis, con el lenguaje se hace posible que los individuos se formen imágenes subjetivas del mundo objetivo, las cuales son manipulables aun en ausencia de las percepciones inmediatas.

De gran importancia en el estudio del lenguaje es el surgimiento de la palabra, la cual inicialmente actúa como medio de formación de los conceptos y luego pasa a ser su símbolo. Para Vygotsky, (1995a), solo estudiando el uso funcional de la palabra y su desarrollo, sus múltiples formas culturales diferentes en las distintas edades, y sus relaciones genéticas, es posible obtener las claves para el estudio de los conceptos. Con el surgimiento de la palabra como instrumento fundamental de interiorización es posible separar la imagen y la operación de la acción. La palabra, en cuanto referente objetual y su carácter semiótico, es el sistema fundamental de códigos que garantiza el distanciamiento de lo sensorial, permite caracterizar e individualizar las cosas, las acciones y las relaciones, permite reunir los objetos en determinados sistemas; en resumen, con la palabra codificamos nuestra experiencia.

Mediante el uso de la palabra es posible representar los objetos, no solo para relacionarlos entre sí, sino también para analizarlos, para abstraer y generalizar sus características. Esta dimensión analítica de la palabra nos permite incluir un objeto o un evento en un sistema complejo de enlaces y relaciones. Al ser la palabra base para la generalización es un instrumento del pensamiento y al ser medio de comunicación es instrumento de la comunicación verbal.

Gracias al lenguaje es posible abstraer las características aisladas de las cosas, captar los profundos enlaces y relaciones en los que éstas se encuentran. El lenguaje nos permite distanciarnos de los límites de la influencia sensorial inmediata y formamos conceptos abstractos que nos permiten profundizar en la esencia de las cosas. Mediante el lenguaje es posible derivar conclusiones sobre la base del razonamiento. Tanto la palabra como el lenguaje, y en términos más amplios los procesos comunicativos en los cuales están inscritos, nos dan la posibilidad de transmitir la experiencia de individuo a individuo, al igual que nos permiten asimilar la experiencia de generaciones anteriores. Como sistema de símbolos, el lenguaje refleja el desarrollo sociohistórico, de tal manera que los marcos interpretativos empleados por los individuos en desarrollo reflejan la conciencia organizada de toda la cultura, (Bruner & Haste, 1990).

3. 8. 1. 2. Función categorizadora del lenguaje: La elaboración de significados en las clases de ciencias

El estudio del lenguaje al interior del campo del saber de la didáctica de las ciencias cobra importancia al reconocer la amplia tradición comunicativa que mantiene la escuela. La socialización del conocimiento en el ámbito escolar ha seguido patrones básicamente discursivos con predominio del lenguaje verbal, (oral y escrito), por parte de los profesores, los textos y los estudiantes. El predominio casi absoluto de este tipo de lenguaje nos lleva a la necesidad de conocer con mayor detalle algunas de las diferentes formas mediante las cuales los estudiantes construyen sus significados al interior de los procesos educativos y principalmente de las clases de ciencias.

Si bien se reconoce la importancia actual de los estudios sobre el lenguaje, es claro que éste no siempre se conceptualiza de la misma forma. El lenguaje es considerado por la psicología cognoscitiva como un vehículo para expresar el pensamiento, mientras que para algunas tendencias dentro de la perspectiva histórico-cultural, el lenguaje es considerado como el medio para desarrollar el pensamiento. Para la psicología discursiva (Edwards & Potter, 1992), el acto del habla permite la construcción del significado, de la realidad y de la misma cognición. En estas dos últimas perspectivas teóricas adquiere gran importancia el contexto en el cual se emplea el discurso. Los actuales estudios del lenguaje en el aula destacan la necesidad de encontrar nuevas formas de mirar y de hablar que impliquen la participación activa del estudiante en su proceso de aprendizaje, (Arca, M., Guidoni, P. & Mazzoni, P. 1990; Jewitt, 2000; Martins, 2000; Sutton, 1998a) y que propicien a la vez el uso de diferentes puntos de vista frente a las situaciones que se les presentan, estos aspectos son claves en las etapas iniciales de la comunicación científica. Para el logro de estas nuevas formas de mirar y de hablar se requiere lograr acuerdos entre profesores y estudiantes, (Sutton, 1998a).

De igual manera se hace necesario conocer algunos de los múltiples factores que inciden en el cambio de estos significados, de cómo se comparten y de cómo se negocian al interior de los procesos comunicativos generados en las aulas. En este último caso hacemos referencia a la necesidad de conocer mejor algunas de las múltiples relaciones existentes entre los procesos comunicativos y la construcción de conceptos científicos, y cómo estos últimos se constituyen como herramientas para posteriores aprendizajes.

Dentro de los aspectos más relevantes de la funcionalidad del lenguaje en la construcción de los conceptos en ciencias, se destaca su aporte al desarrollo de los procesos de abstracción y generalización. El nuevo lenguaje hace que la atención del alumno se desplace de la relación signo-objeto a la relación signo-signo (Gallimore & Tharp, 1993). Al dar cierto significado a una palabra, nos encontramos ante todo frente a una generalización; la palabra, y con ella el lenguaje, es entonces un acto verbal del pensamiento y su significado debe considerarse no solo como unidad del pensamiento y del discurso, sino también

como unidad de la generalización y de la comunicación, (Vygotsky, 1995a; Davidov, 1982).

En el aprendizaje de las ciencias no es suficiente el conocimiento del significado individual de las palabras, dado que este no es único, ni universal. Aceptar que los significados son elaborados por los individuos y las comunidades nos lleva a reconocer que estos no forma parte de la propia naturaleza del objeto o del fenómeno. Se requiere que los alumnos aprendan a utilizar sus significados, que aprendan a usar adecuadamente tanto las palabras como los conceptos según diferentes contextos, problemas o situaciones y que aprendan a relacionar los diferentes conceptos en el interior de un campo del saber determinado. Saber utilizar las palabras y los conceptos en contextos diferentes forma parte de saber hablar en ciencias. En términos de Lemke (1997), los estudiantes deben aprender tanto el contenido científico de un discurso como la forma comunicativa en la que el primero se expresa. La enseñanza de las ciencias deberá orientar esfuerzos para lograr que los estudiantes desarrollen habilidades que les permita extraer de un discurso los modelos científicos esenciales que subyacen a él. Este proceso de dar significado propio implica que el estudiante reconozca cómo los aspectos estructurales y funcionales del discurso contribuyen a la construcción de sentido.

Generalmente los conceptos no los usamos de manera independiente e individual, su utilidad proviene de las relaciones en las que incluimos el concepto y son éstas, y el contexto en el que las utilizamos, las que definen su significado. Tanto el concepto como sus significados se construyen mediante el uso de múltiples formas semióticas dentro de las que se destaca el lenguaje. De igual manera, una teoría científica o un sistema conceptual puede considerarse como un patrón temático de relaciones semánticas con un significado particular al interior de una comunidad. Estos significados construidos mediante el uso de diferentes tipos de lenguajes y representaciones definen y diferencian una comunidad científica de otra. En síntesis, cuando un concepto científico está en proceso de formación, de manera concomitante a este se da la adquisición del lenguaje científico, este último implica tanto la adquisición de una nueva estructura semántica como de una nueva forma de pensar y de ver la realidad.

Es importante destacar la influencia determinante de aspectos diferentes a los estrictamente conceptuales en la construcción de significados en las clases de ciencias. Frente a esto, es claro que el significado del discurso está mediado por la motivación del estudiante, sus experiencia previas, sus creencias, el contexto en el cual se realiza la actividad discursiva y sus intereses.

3. 8. 1. 3. El lenguaje y la construcción y regulación de los conceptos científicos

Para la enseñanza de las ciencias la construcción de los conceptos científicos ha sido un problema central. Su estudio exige, entre otros aspectos: 1.- identificar cuáles son los conceptos que deben ser estudiados y construidos por los estudiantes en los diferentes niveles educativos; 2.- conocer en forma más detallada las múltiples transposiciones didácticas que pueden tener los conceptos que van a ser enseñados, (Chevallard, 1991; Dupin & Joshua, 1993) y, 3.- definir las características de la ciencia escolar (Izquierdo, et al. 1995, 1999), dentro de las que destacamos la necesidad de preguntarnos sobre los objetivos del conocimiento escolar, de despertar el interés de los estudiantes para plantearse preguntas acerca del mundo físico y biológico en las que el método seguido para su estudio es flexible y establecer relaciones de similitud entre los hechos y las teorías. Desde esta última perspectiva el modelo cognitivo de ciencia (Giere, 1992), tiene utilidad para la enseñanza de las ciencias en la medida en que plantea la importancia de la formación y consolidación de modelos científicos y de como ellos ayudan a pensar intencionalmente sobre el mundo natural y a relacionarlo con los modelos teóricos establecidos. En mencionado modelo se destaca la importancia central del lenguaje como mediador en la formación y regulación de los procesos de aprendizaje, aspecto que ampliaremos a continuación

El surgimiento del lenguaje es determinante en el paso del plano material al plano mental, (Galperin, 1982) y es esto lo que hace posible considerar al lenguaje como regulador no sólo de la percepción, sino también de su representación y de la acción. En síntesis, en el aprendizaje de las ciencias, experiencia y lenguaje son dos factores indiscernibles, (Jorba y Sanmartí 1996), se requiere aprender a hablar sobre los procesos que se realizan en las clases de ciencias, aprender a observar, a discutir, a representar de formas diferentes los conceptos y fenómenos estudiados, a regular y a autorregular los procesos de aprendizaje en los cuales el lenguaje juega papel determinante.

Lograr aprendizajes significativos en ciencias requiere de la evaluación-regulación de las interrelaciones entre las formas de mirar, razonar, comunicar, sentir y organizar el conocimiento, (Guidoni, 1991; Sanmartí y Jorba, 1996). Desde este punto de vista, los estudiantes aprenden ciencias porque reconocen ventajas en alguna de las posibles formas de pensar sobre un determinado fenómeno. "Ello requiere hablar de estas distintas maneras de "ver", de "razonar", de "conceptualizar, de "sentir"; evaluarlas y seleccionar la más idónea. Pero al mismo tiempo, también se evalúan-regulan estas maneras de hablar, por lo que el instrumento lenguaje, mediador de la regulación del aprendizaje en las clases de ciencias y de matemáticas, pasa a ser él mismo objeto de autorregulación", (Sanmartí y Jorba, 1996).

Un último aspecto que queremos destacar acerca de la importancia del lenguaje es el relacionado con su análisis tanto estructural como funcional. El conocimiento de la gramática y de la semiótica nos puede dar importante información acerca de

la construcción y evolución de los conceptos por parte de los estudiantes. A través del lenguaje podemos observar e influir sobre los procesos cognitivos de los estudiantes, de ahí que sea posible usar el propio lenguaje como un instrumento valioso para el conocimiento de mencionados procesos.

El análisis del lenguaje puede abordarse siguiendo estrictamente reglas lógicas, dando así prioridad a aspectos gramaticales, o por el contrario prestar máxima atención a aspectos relacionados con la producción de significados. En la actualidad esta segunda tendencia en el análisis del discurso es especialmente importante para la didáctica de las ciencias, en la medida que se reconoce que el significado del discurso utilizado por profesores y estudiantes está en íntima relación con sus conocimientos previos y creencias acerca del mundo o de una situación determinada, en conjunción con los estados de ánimo, fenómenos, acciones, contextos, en los que estemos generando el discurso. En otras palabras, la interpretación que elaboramos acerca de un hecho, es más un proceso cognitivo de uso del lenguaje, cuyo resultado es una representación conceptual del discurso en la mente del sujeto.

Las dimensiones subjetivas, que dependen de factores personales, contextuales, motivacionales, presentes permanentemente en el uso del lenguaje, pueden determinar cuáles son los significados que reciben mayor atención en un momento determinado, cuáles pueden ser desagregados como conocimientos, creencias y opiniones, cuáles relaciones pueden ser activadas y cómo el significado puede transformarse en uno más personal o más contextual.

El lenguaje, desde la perspectiva de la psicología discursiva (Edwards & Potter, 1992), es considerado como una forma de acción situada altamente flexible. Es más que la simple expresión de las representaciones cognitivas a través del habla. Desde este punto de vista, una de las funciones del lenguaje es construir la naturaleza y el contenido del evento, distanciándose así de la idea tradicional de que el lenguaje es la vía mediante la cual expresamos nuestros pensamientos. Los significados de entidades abstractas como mol, electrón y gen, se construyen tanto a través de la experiencia perceptiva de los estudiantes como también de las maneras en que se *hable* acerca de la evidencia o de la actividad en el aula.

Con lo anterior destacamos una segunda perspectiva funcional que reconoce la importante influencia de la dimensión subjetiva en el uso del lenguaje, (Berger y Luckman, 1984; van Dijk, 1989; Lemke, 1997, 1999, Scott, 2000). Los aspectos subjetivos determinan cuáles significados reciben especial atención, cuáles pertenecen más al ámbito de las creencias, de las experiencias previas, de las opiniones y a su vez de cómo se construyen significados más personales y contextuales.

3. 8. 2. Análisis del discurso de los estudiantes.

El estudio del discurso en el aula ha sido abordado desde diferentes perspectivas dentro de las que se destacan aquellas orientadas a considerar el discurso como un puente entre lo cognoscitivo y lo social (Cazden, 1990), en este caso se considera el desarrollo cognitivo y el lingüístico como una forma de socialización y de aprendizaje cultural. En otros trabajos se asume el lenguaje como mediador cultural del pensamiento y de la acción expresados en prácticas cotidianas, mientras que otras perspectivas afirman que el desarrollo cognoscitivo esta social y culturalmente condicionado, (Candela, 1999). Los estudios del lenguaje en ciencias han permitido conocer algunas de las reglas implícitas del discurso, de sus características particulares y de las maneras como los profesores lo utilizan para orientar y evaluar el proceso de aprendizaje (Edwards y Mercer, 1987, Lemke, 1997).

Tradicionalmente los estudios del lenguaje en ciencias se han orientado a conocer las concepciones de los estudiantes en muy diversos campos del saber. Además de los aspectos conceptuales hoy se acepta que los estudiantes deben aprender a reconocer cuándo una explicación es válida y cuando no, deben aprender a hablar del tema, a escuchar, y a dirigir el discurso. En síntesis, deben aprender además del contenido específico, la retórica de la comunicación científica en el aula, deben aprender a comunicar sus ideas, a dar más énfasis a lo que ellos consideren más importante, a usar las analogías, las metáforas y los símiles dentro de sus explicaciones, deben aprender a realizar las críticas y a defender sus argumentos y sus explicaciones. Comprender la importancia de los aspectos conceptuales, retóricos y contextuales en la elaboración del discurso de los estudiantes en clase de ciencias (Candela, 1999; Jewitt, 2000; Lemke, 1997; 1999; Martins, 2000, 2001; Sutton, 1998a), es sin lugar a dudas necesario para cualificar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Diferentes investigadores estudian el discurso en la clase desde una perspectiva multimodal (Lemke, 1999; Martins, 2000, 2001; Scott, 2000; Jewitt, 2000; Mortimer, 1998 b). En tales estudios se investigan los diferentes tipos de lenguajes empleados en la clase y sus aspectos retóricos; se hace referencia, por ejemplo, al lenguaje oral, al escrito, al gestual y al corporal. No obstante estas diferentes formas de acción empleadas continuamente en el aula, las formas de comunicación escrita y oral siguen siendo la clase más común de símbolos empleados en la educación. Anderber (2000), considera que a pesar de que gran parte de la investigación sobre el lenguaje está relacionada con la comprensión del conocimiento de los estudiantes, representado principalmente a nivel verbal, poco se conoce del carácter y de la naturaleza de las relaciones entre el significado de la palabra y su comprensión.

A continuación presentamos algunas consideraciones generales con las que destacamos la importancia de la investigación del lenguaje y del discurso en clases de ciencias, posteriormente nos centraremos de manera específica en el estudio del discurso escrito por parte de los estudiantes.

- El análisis del discurso, y con él el del lenguaje, nos permite acercarnos cualitativamente a diferentes representaciones que tienen los estudiantes sobre distintos hechos o fenómenos.
- El análisis del discurso utilizado por los estudiantes en el aula nos informa acerca de elementos de diferente naturaleza, los cuales son centrales dentro de las representaciones por ellos realizadas.
- El conocimiento de las concepciones alternativas de los estudiantes, como forma de representación, exige el estudio profundo del lenguaje, tanto en su estructura como en su función.
- La gran importancia que tiene para la escuela el estudio del lenguaje, hace de éste una herramienta imprescindible tanto para la comunicación como para la estructuración del pensamiento.
- La formación de los conceptos científicos y el logro de la evolución conceptual están en íntima relación con un uso adecuado del lenguaje científico hasta el punto de considerarse imposible separarlos.

3. 8. 2. 1. Análisis del discurso escrito de los estudiantes

Actualmente se acepta que la representación que un sujeto realiza en su mente sobre una experiencia cualquiera, por ejemplo la lectura de un texto, no es una copia literal de éste sino que es la idea general acerca del evento o del texto lo que recuerda. Esta representación es el resultado de un proceso constructivo, donde la información proporcionada por la situación interactúa con los conocimientos previos del sujeto, lográndose como resultado la interpretación del significado global de la situación. Debido a la capacidad que tenemos de *manipular* las representaciones simbólicas podemos traducir los eventos externos en modelos internos, llamados en general representaciones mentales.

Los textos escritos, como sistemas externos de representación que son (Martí y Pozo, 2000) se constituyen a través de un complejo proceso de reconstrucciones, no son sólo la traducción de representaciones internas o de otros sistemas simbólicos como el lenguaje. Los textos tienen naturaleza propia que repercute en la cognición y en el aprendizaje de quien los utiliza. Un texto es un modelo de la realidad a la que hace referencia según ciertas restricciones y como modelo representativo, crea nuevas realidades y nuevas relaciones. Plantean estos autores la importancia que en la educación podría tener el conocimiento de cómo los estudiantes han construido los textos y cómo son utilizados como soporte y formato de la información.

El análisis de los textos escritos puede realizarse tanto a nivel estructural como funcional. La dimensión estructural deriva el significado del discurso en función de las palabras, proposiciones y oraciones que lo constituyen, con base en reglas lógicas. Se consideran las estructuras de expresión como estructuras de significado, el cual se puede obtener mediante el análisis de las secuencias de oraciones. Este primer aspecto del análisis conduce a averiguar cómo las secuencias de oraciones de un discurso se relacionan con la secuencia de proposiciones básicas y cómo el significado de tales secuencias es función del significado de las oraciones constituyentes o proposiciones. Dentro de este tipo de análisis discursivo el uso generalizado de conectores causales está íntimamente relacionado con el tipo de explicación empleado por los estudiantes.

En la actualidad se reconoce que en un discurso escrito sus oraciones y proposiciones no están sólo unidas por conectores lógicos. Son de gran importancia las influencias ejercidas por los objetos o fenómenos sobre los cuales realizamos el discurso, por los estados de ánimo, por las experiencias previas y por el contexto en el que se genera el discurso. Aunque reconocemos el valor de los aspectos sintácticos *per se* y su relevante función en la construcción final del significado según el orden de palabras y oraciones que lo constituyen, destacamos principalmente el estudio de sus significados en función principalmente de los contextos en los cuales se construye el discurso. En este sentido van Dijk (1989) sostiene que un menor aporte al significado global de un discurso se deriva de los hechos denotados por el discurso, mientras un mayor aporte proviene de los conocimientos propios o creencias acerca de la situación.

El proceso de construcción del significado global del texto se ha relacionado con teorías generales del funcionamiento cognitivo, tal como la teoría de los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983; Schnotz & PreuB, 1997; Nersessian, 1992; Gilbert, Boulter & Rutherford, 1998). En la construcción de este significado algunos investigadores proponen diferentes niveles de representación en los que se organizan y estructuran los contenidos procedentes del texto con los conocimientos y experiencias previas del individuo. Ericsson & Kintsch 1995, identifican los siguientes niveles de representación en la construcción del significado global de un texto:

- Representación lingüística superficial, la cual es elaborada a partir de las palabras presentes en el texto,
- Representación de la base del texto, en la cual se especifican las diferentes relaciones semánticas entre las distintas partes del texto. Son una representación proposicional de las ideas y los conceptos; en este tipo de representación, las paráfrasis permiten al sujeto conectar ideas de diferente procedencia del texto y así establecer niveles jerárquicos entre las diferentes ideas que componen el texto.

- Representación del modelo situacional, en el cual se ubican las referencias y las oraciones nuevas. Son una representación de la situación real que el texto describe y por lo tanto pueden soportar re-elaboraciones muy alejadas de la base del texto; son el resultado de la comprensión y el contenido principal de la memoria del texto.

El análisis de los textos escritos es usado ampliamente con el propósito de comprender los procesos de aprendizaje y cambio conceptual en los estudiantes. Fellows, 1994 considera que el análisis de los textos escritos es una metodología importante para el estudio de la evolución conceptual. Manson & Boscolo (2000), exploran la relación entre el discurso escrito y el desarrollo del conocimiento y de la conceptualización de los estudiantes, destacan a su vez la importancia de la escritura en la comprensión de nuevos conceptos y en la evolución conceptual. Duit et al. (1998), destacan la relación entre análisis del discurso y la evolución conceptual y consideran la importancia de la construcción individual y social del conocimiento, destacan a su vez que en la construcción del conocimiento intervienen tanto las concepciones previas como los contextos de aprendizaje.

Para Duit et al (1998), el análisis del discurso y la evolución conceptual son marcos diferentes para analizar los procesos de aprendizaje, consideran que en la actualidad el análisis del discurso, en nuestro caso el análisis textual, es visto como una acción situada que produce comprensiones y respuestas a problemas situacionalmente aceptadas, más que como un análisis en términos de concepciones. Consideran estos autores que el análisis convergente de la evolución conceptual y del discurso da a los investigadores un juego del lenguaje (Wittgenstein, 1989) propio para describir los procesos de aprendizaje en el aula; el análisis del discurso proporciona información sobre cambios inter e intrainstitucionales en la organización del lenguaje de los estudiantes y sobre las interacciones entre el material y las actividades discursivas.

De los diferentes tipos de representación que un lector elabora sobre un texto determinado (Orrontia, Rosales y Sánchez, 1998; Ericsson & Kintsch, 1995), la representación situacional es especialmente importante para el aprendizaje y la evolución conceptual. Construir una representación situacional implica elaborar en nuestra mente una representación de la situación a la que se refiere el texto, significa dar sentido a las palabras leídas, significa que el estudiante acceda a las ideas centrales del texto, que reconozca la estructura de más alto nivel de éste e incorpore las ideas a las categorías de dicha estructura. Identificar el modelo situacional de un texto esta en estrecha relación con la obtención de su coherencia global para lo que se requiere un proceso estratégico en el cual el sujeto aplica sus conocimientos para reconocer y seleccionar las ideas más importantes del texto, es decir, requiere la puesta en juego de ciertas habilidades metacognitivas.

La construcción de la coherencia del texto se logra mediante la proyección de los conocimientos previos del sujeto sobre un conjunto de microproposiciones, así se relacionan jerárquicamente las ideas centrales del texto y se construye a la vez el significado global del texto que corresponde al nivel de representación del modelo situacional. Este nivel de representación contiene las ideas principales del texto y tiene información sobre el contexto o situación, estableciendo predicciones sobre hechos que sería plausible esperar en determinadas circunstancias y, así mismo, restringe el espacio de interpretación.

3. 9. Algunos aportes de las dimensiones metacognitiva y motivacional en el estudio de la evolución conceptual.

La investigación en educación, y por extensión en la didáctica de las ciencias, destaca la importancia de los componentes cognitivos, metacognitivos y afectivos para el aprendizaje. Usualmente los objetivos de aprendizaje centrados en los contenidos o solo en habilidades específicas, ignoran muchos componentes reconocidos como esenciales para el aprendizaje significativo de las ciencias, esto es, para lograr aprendizajes profundos con los cuales los estudiantes estén en capacidad de relacionar lo aprendido en la escuela con lo observado en los diferentes contextos en los que se desarrollan.

3. 9. 1. Habilidades metacognitivas y evolución conceptual

La metacognición es especialmente importante para la educación y para la didáctica de las ciencias debido a que incide en la adquisición, comprensión, retención y aplicación de lo que se aprende; su influencia se da además sobre la eficacia del aprendizaje, el pensamiento crítico y la resolución de problemas. Según Kuhn, Amsel & O'Loughlin (1988), es una de las habilidades más importantes que definen el pensamiento científico, mediante ella se pueden diferenciar y relacionar la teoría y los hechos; es decir, ser capaz de pensar explícitamente *acerca* de las ideas o concepciones que uno tiene, más que solo pensar *con* esas concepciones (Manson, 1994). Las líneas que presentamos a continuación tienen como propósito central mostrar los desarrollos más significativos que ha tenido este concepto para la didáctica de las ciencias, especialmente en lo relacionado con la evolución conceptual.

El conocimiento y la regulación de la cognición parecer abarcar una amplia variedad de objetos, áreas y dominios; es decir, es un fenómeno de dominio general en el cual las habilidades cognitivas tienden a encapsularse dentro de dominios o áreas específicas, mientras que las habilidades metacognitivas se

extienden por múltiples dominios, aun cuando estos tengan poco en común, (Gourgey, 1998). En el mismo sentido Karmiloff-Smith (1992) considera que el conocimiento metacognitivo y la regulación son habilidades cualitativamente diferentes de otras habilidades cognitivas; argumenta que la metacognición parece ser mas duradera y general que otras habilidades cognitivas dominio-específicas. En cuanto a las posibles relaciones entre la metacognición con las habilidades cognitivas hay consenso generalizado en que la metacognición no depende del coeficiente intelectual e la persona

Los estudiantes aunque pueden interpretar en forma adecuada sus experiencias cotidianas no son conscientes necesariamente de los procesos metacognitivos que realizan. La ausencia de este tipo de conciencia les impide comprender que sus ideas pueden ser cuestionadas y, a su vez, favorece la creación de concepciones alternativas. Frente al desarrollo de este conocimiento metacognitivo hay quienes piensan que al enseñar ciencias se debe hacer énfasis de manera explícita sobre los procesos metacognitivos de los estudiantes, dada la dificultad que tienen para reflexionar sobre sus teorías o sobre las relaciones explícitas entre las teorías y los datos (D. Kuhn, 1989). Otros consideran que los estudiantes, al aprender, incrementan su conciencia acerca de los principios que gobiernan sus conocimientos y llegan a ser progresivamente capaces de reflejarlo sobre sus conocimientos (Karmiloff-Smith, 1992).

El conocimiento metacognitivo se refiere al conocimiento que tienen las personas sobre sus propios procesos cognitivos. La metacognición ha sido definida como la habilidad para monitorear, evaluar y planificar nuestro propio aprendizaje (Flavell, 1979). De manera aun más general fue definida por Flavell (1987), como cualquier *conocimiento sobre el conocimiento*. A partir de estas primeras definiciones en las últimas dos décadas se han realizado importantes esfuerzos con el propósito de tener un conocimiento más detallado de la metacognición y de su relación con los procesos de aprendizaje. En consecuencia, en la actualidad encontramos un amplio constructo teórico (Gunstone & Mitchell, 1998; Martí, 1995; Meyer, 1998; Sternberg, 1998) y una variedad importante de estrategias metodológicas para su valoración (Osborne, 2000; Pintrich, et al. 1991; Tobías y Everson, 1996) que permiten referirnos a la metacognición como a un concepto joven y con gran potencialidad en la enseñanza de las ciencias.

Siguiendo a Gunstone & Mitchell (1998), el estudio de la metacognición aborda tres aspectos generales: *conocimiento*, *conciencia* y *control* sobre los propios procesos de pensamiento. *El conocimiento metacognitivo* es el conocimiento que tienen las personas sobre sus propios procesos cognitivos; son conocimientos de naturaleza diferente que pueden referirse, según Flavell (1987), a los conocimientos sobre las personas, sobre las tareas o sobre las estrategias. Un estudiante que conozca en forma adecuada sus procesos cognitivos puede "hablar" o "reflexionar" sobre sus procesos de pensamiento propios y/o de los demás.

El *conocimiento declarativo*; es un conocimiento proposicional referido a una *saber que*, acerca de uno mismo como aprendiz y de los diferentes factores que influyen de manera positiva o negativa en nuestro rendimiento. El conocimiento *procedimental* es un *saber cómo* se hacen las cosas, de cómo suceden, es un tipo de conocimiento que puede representarse como heurísticos y como estrategias en las cuales los individuos definen los pasos seguidos en la solución a un problema.

El conocimiento *condicional* es un *saber por qué y cuándo* se usan el conocimiento declarativo y el procedimental (Garner, 1990). Según Reynolds 1992, (citado por Schraw 1998), este tipo de conocimiento ayuda al estudiante a distribuir selectivamente los recursos y a usar las estrategias más eficientemente, permite además identificar el conjunto de condiciones y las exigencias situacionales de cada tarea de aprendizaje. Este conocimiento es ubicado por Martí (2000, comunicación personal), como un tipo de conocimiento estratégico de importancia para muchos investigadores debido a su influencia en la educación. Consiste en poder desplegar una serie de estrategias y en saber hacer un análisis de la situación con el propósito de conocer cuáles son las más adecuadas. Al hablar de un tipo de conocimiento condicional, además de tener conciencia de lo que se debe realizar a nivel cognitivo, se deben emplear también conocimientos específicos relacionados con la tarea que se quiere resolver; en tal sentido el conocimiento condicional reúne tanto conocimiento de orden cognitivo como conceptual, y es debido a la importancia de esta interacción entre lo cognitivo y lo conceptual que el conocimiento condicional es especialmente importante para la educación.

La *conciencia metacognitiva* es un saber de naturaleza intra-individual, se refiere al conocimiento que tienen los estudiantes de los *propósitos* de las actividades que desarrollan y de la conciencia que tienen sobre su *progreso personal*; es un conocimiento que permite el control o la auto-regulación del pensamiento y de los procesos y productos del aprendizaje (Hartman, 1998).

La *regulación (o control) metacognitiva* se refiere al conjunto de actividades que ayudan al estudiante a controlar su aprendizaje, se relaciona con las decisiones del aprendiz antes, durante y después de realizar cierta tarea de aprendizaje. Se asume que la regulación metacognitiva mejora el rendimiento en diferentes formas: mejora el uso de la atención, proporciona una mayor conciencia de las dificultades en la comprensión y mejora las estrategias ya existentes. Se ha encontrado un incremento significativo del aprendizaje cuando se incluyen, como parte de la enseñanza, la regulación y la comprensión de las actividades, (Schraw, 1998).

La regulación de los procesos cognitivos esta mediada por tres procesos cognitivos esenciales: *planeación*, *monitoreo* y *evaluación* (Browm, 1987). La *planeación* implica la selección de estrategias apropiadas y la localización de

factores que afectan el rendimiento tales como la predicción, las estrategias de secuenciación y la distribución del tiempo o de la atención selectiva antes de realizar la tarea; es decir, consiste en anticipar las actividades, prever resultados, enumerar pasos. El monitoreo se refiere a la posibilidad que se tiene, en el momento de realizar la tarea, de comprender y modificar su ejecución, por ejemplo, realizar auto-evaluaciones durante el aprendizaje, para verificar, rectificar y revisar las estrategias seguidas. La *evaluación*, realizada al final de la tarea, se refiere a la naturaleza de las acciones y decisiones tomadas por el aprendiz; evalúa los resultados de las estrategias seguidas en términos de eficacia.

El conocimiento y la regulación de la cognición se relacionan mutuamente. Martí (1995), considera que es muy probable que el conocimiento que tiene una persona sobre su cognición repercute sobre la regulación cognitiva, de igual manera, considera que es probable que los procesos reguladores aplicados por las personas al abordar una tarea de aprendizaje repercutan sobre el conocimiento que van elaborando y sobre sus propios procesos cognitivos, en el mismo sentido, Schraw (1998), muestran que el conocimiento declarativo facilita la regulación en la solución de problemas en estudiantes de 5° y 6°. De igual manera Pintrich (2000); Schraw, (1998), muestran que el conocimiento de estrategias está relacionado con el auto-reporte de las estrategias empleadas en la resolución de una tarea.

Se han descrito diferentes marcos teóricos en los que se fundamentan las actuales investigaciones sobre la metacognición. Los más destacados son: el procesamiento de la información, las perspectiva piagetiana, y la vygotskiana y el marco constructivista. A continuación nos referiremos brevemente a cada uno de estos marcos, para ello nos basaremos en Martí, (1995).

Desde el marco del procesamiento de la información para lograr una actuación adecuada se requiere poseer, además de ciertos conocimientos y estrategias, una supervisión reguladora de la persona sobre su propia actuación, esta supervisión hace que las actividades se hagan de manera flexible y adaptadas a la exigencia de la tarea. Destacan tres tipos de procesos: de anticipación, de ejecución y de verificación y evaluación de los resultados. Dentro de esta perspectiva se hace énfasis en la necesidad de supervisión y control y se señala la importancia de diferenciar al menos dos aspectos de la cognición: el conjunto de conocimientos (declarativos y estratégicos) y el control realizado sobre las acciones para lograr el objetivo. Quienes defienden el procesamiento de la información consideran que el control es consiente, intencional y deliberado.

Para Piaget la toma de conciencia es un proceso de conceptualización, ocurrido en el plano representativo, de aquello que ya está adquirido en el plano de la acción, (Piaget, 1974, citado por Martí, 1995). En esta perspectiva teórica la toma de conciencia es un proceso y no se da de forma inmediata, debe reflejarse a través de conceptualizaciones con grados diferentes de conciencia, lo cual lleva a

conocimientos explícitos que la persona puede exteriorizar mediante sus acciones o sus verbalizaciones. Para Piaget las regulaciones no solo son los mecanismos de control y ajuste de la persona en el momento de lograr un objetivo, sino que a la vez dichas regulaciones generan nuevas formas de conocimiento.

Para Vygotsky el desarrollo cognitivo está determinado y regulado por el desarrollo metacognitivo, por la adquisición e internalización de herramientas de auto-regulación, dentro de las que el lenguaje se constituye como el instrumento fundamental de la regulación. Desde esta perspectiva teórica el desarrollo cognitivo sería esencialmente desarrollo metacognitivo, (Riviere, 1986), en el que uno de los aspectos más importantes es conocer como se produce el paso de la regulación externa, realizada por otras personas, a una auto-regulación, lo cual se realiza gracias a un proceso de internalización. Las actividades de regulación externa ejercidas por otras personas han de ser asimiladas progresivamente por el aprendiz, quien a su vez debe manifestar estas actividades de regulación de forma cada vez más visible y comunicable.

Desde la perspectiva constructivista dentro de los aspectos relacionados con la metacognición más importantes para el aprendizaje se encuentran, según Martí (1995):

- La importancia de la toma de conciencia como mecanismo de cambio en el desarrollo y como elemento esencial de muchos aprendizajes.
- La necesidad de tomar en cuenta mecanismos auto-reguladores para explicar el desarrollo cognitivo y la gestión eficaz de nuevos aprendizajes
- La importancia de la regulación ejercida por otras personas para dar cuenta del aspecto social y guiado del desarrollo y del aprendizaje.

Como es tradición en diferentes campos de estudio, el constructo metacognición está conceptual y metodológicamente relacionado de manera estrecha con el constructo auto-regulación. No entraremos a discutir la posible sinonimia entre ellos pero sí destacaremos algunos de los aspectos auto-reguladores, comunes en términos globales, que inciden en la motivación de los estudiantes frente su aprendizaje. Como ilustración de lo anterior Wolters (1998) escribe que los aprendices auto-reguladores son generalmente caracterizados como aprendices activos que manejan eficientemente sus propias experiencias de aprendizaje en formas diferentes (Schunk & Zimmermann, 1994); tienen un gran arsenal de estrategias cognitivas y metacognitivas que fácilmente despliegan, cuando necesitan, para llevar a cabo tareas académicas; adaptan los objetivos de aprendizaje y persisten en sus esfuerzos por alcanzarlos. Son capaces de monitorear y si es necesario, modificar sus estrategias con el propósito de

satisfacer las demandas de las tareas. En síntesis, los aprendices auto-reguladores están motivados, son independientes y son metacognitivamente activos en su propio aprendizaje.

Sanmartí y col. (1997), destacan la importancia de promover que los alumnos aprendan los saberes metacognitivos que les permitirán auto-regular sus aprendizajes, al mismo tiempo que aprenden los conceptos científicos. Ubicados los autores en la Teoría de la Actividad, consideran que es posible deducir estos saberes metacognitivos del análisis de la actividad del aprendizaje realizado por las personas, en la que las acciones se definen como la unidad principal. Destacan los autores como componentes centrales de la auto-regulación del aprendizaje los siguientes.

- La apropiación de los objetivos de aprendizaje. Destacan la necesidad de que los alumnos sean conscientes de lo que van a aprender, del por qué se les proponen ciertas actividades. Lo anterior lleva a promover en los estudiantes que evalúen y auto-regulen sus representaciones acerca de qué y cómo van a aprender o están aprendiendo.
- Desarrollo de capacidades de anticipación y planificación de la acción. Si un alumno tiene desarrolladas estas capacidades, podrá representarse mentalmente y explicitar, de ser necesario, las acciones que debe llevar a cabo para culminar la tarea con éxito.
- La apropiación de los criterios e instrumentos de evaluación. Es necesario que el alumno reconozca y se apropie de las normas y criterios que le permitan decidir si ha entendido un determinado concepto, si sabe poner en práctica cierto procedimiento y su actitud es la esperada. Para los autores este es un aspecto esencial para la auto-regulación desde la perspectiva comunicativa.

Como queda demostrado con lo anterior, desde esta perspectiva de la Teoría de la Actividad se destaca igualmente la importancia y necesidad de desarrollar habilidades metacognitivas y/o auto-reguladoras que permitan el logro de aprendizajes más significativos por parte de los estudiantes.

3. 9. 2. Desarrollo de habilidades metacognitivas desde una perspectiva integral de la evolución conceptual

Desde la perspectiva de la evolución conceptual que defendemos: la independencia entre los conocimientos cotidianos y los científicos dentro de un modelo cognoscitivo de ciencia, las relaciones que planteamos con el desarrollo de habilidades metacognitivas es obvia. El proceso que lleva a los estudiantes a que reconozcan sus diferentes modelos explicativos, a que sean conscientes de

que sus explicaciones tiene mayor significatividad según el contexto en el que se realicen, a que puedan establecer relaciones de semejanza entre diferentes modelos explicativos, a que puedan evaluar sus concepciones, y a que reconozcan cuándo una explicación es más cercana al conocimiento científico, son todos procesos metacognitivos que requieren conocimiento metacognitivo, conciencia y control .

Lo anterior nos sugiere la necesidad de considerar la estrecha relación que existe entre la evolución conceptual y el desarrollo de habilidades metacognitivas que lleve a que los estudiantes reconozcan la coexistencia de los diferentes modelos explicativos que utilizan, ó, lo que sería lo mismo en términos de Pozo (1999), que reconozcan la independencia entre el conocimiento cotidiano y el científico. La tarea metacognitiva estaría en este caso orientada a saber identificar diferentes contextos explicativos al interior de los cuales las explicaciones de los estudiantes tienen mayor utilidad y significatividad, a establecer semejanzas y diferencias entre los diferentes modelos explicativos y a reconocer cuándo una explicación es más cercana al conocimiento científico.

3. 9. 3. Motivación y evolución conceptual

La motivación es un tipo de conocimiento implícito que se encuentra en la base de todo aprendizaje. Para la psicología la motivación ante una tarea es el producto de la interacción entre la expectativa de éxito y el valor concedido a ese éxito. Según el valor concedido a la tarea el alumno puede desempeñarse por motivaciones intrínsecas, en caso de querer comprender lo que estudia o, por razones extrínsecas, lo cual requiere un sistema de recompensas y castigos.

En términos generales uno de los principales problemas de la educación especialmente en el nivel de la secundaria, es que los estudiantes no están interesados en las ciencias, no quieren estudiar y debido a que el aprendizaje de las ciencias es una tarea intelectualmente exigente, fracasan en su aprendizaje (Pozo y Gómez 1998). Es clara la relación existente entre la motivación y el aprendizaje, sin embargo, tradicionalmente se ha considerado que la motivación es responsabilidad de los alumnos. La motivación no solo es una de las causas de la falta de aprendizaje de las ciencias, sino que es una de sus primeras consecuencias. Claxton (1984), considera que el problema de la motivación en el aula no se debe a que los alumnos no estén motivados sino a que sus intereses son diferentes a los supuestos por el sistema de enseñanza; considera este autor que motivar es cambiar las prioridades de una persona, cambiar sus actitudes ante el aprendizaje.

Según el valor concedido a una tarea, el alumno puede movilizarse por razones extrínsecas o intrínsecas. Quienes están motivados extrínsecamente por aprender

ciencias, buscan el reconocimiento de sus profesores y compañeros y para ello emplean las tareas de aprendizaje con propósitos instrumentales; su interés es externo al propio conocimiento científico. En un sistema educativo que privilegie la motivación extrínseca los resultados de aprendizaje dependen totalmente del mantenimiento de los premios y castigos. En el ámbito de las ciencias, si el estudiante no percibe lo aprendido como interesante y significativo terminara olvidándolo con facilidad. Este tipo de motivación en el aprendizaje de las ciencias puede llegar a constituirse en un obstáculo para el aprendizaje.

La motivación intrínseca hacia el aprendizaje se produce cuando el alumno se esfuerza en comprender lo que estudia, busca darle significado; esta mas interesado en aprender que en aprobar. Cuando lo que mueve el aprendizaje es el deseo de aprender, sus efectos sobre los resultados obtenidos parecen ser mas sólidos y consistentes que cuando el aprendizaje esta movido por motivos mas externos; en este caso es la actividad en si misma la que motiva al estudiante. Al parecer la motivación intrínseca requiere que el alumno perciba un amplio margen de autonomía en su aprendizaje y en la definición de sus metas, así como formar parte de una comunidad de aprendizaje en la que otras personas compartan los mismos valores, (Alonso, 1997).

Pintrich (1999), ha estudiado como las diferentes creencias motivacionales ayudan a promover, sostener o facilitar el aprendizaje auto-regulado; ha identificado tres tipos principales de creencias motivacionales en los estudiantes: sobre la auto-eficacia (juicios sobre las propias capacidades para realizar tareas académicas), sobre el valor de las tareas (opiniones acerca de la importancia, el interés y el valor en la tarea) y sobre los objetivos orientacionales. Encuentra que los estudiantes que creen que pueden aprender y confían en sus habilidades son mas capaces de emplear estrategias auto-reguladoras; destaca además que quienes creen que su trabajo de curso es interesante, importante y útil, emplean mas comúnmente estrategias auto-reguladoras, además, son estudiantes que se distraen menos y tienen mayor posibilidad de activar conocimientos previos relevantes, lo cual puede liberar mas capacidad de memoria de trabajo para el monitoreo y regulación de los procesos involucrados en la auto-regulación del aprendizaje. En cuanto a los objetivos de aprendizaje destaca la importancia de que los estudiantes propongan sus propios objetivos relacionados con su propio aprendizaje y comprensión; plantea que cuando los estudiantes responden a objetivos externos a ellos, lo hacen de manera superficial, tanto en lo metacognitivo como en lo auto-regulador.

Se han identificado cuatro motivos especiales que dirigen el aprendizaje de los estudiantes: necesidad de satisfacer su propia curiosidad, necesidad de cumplir las obligaciones, necesidad de relacionarse con los demás y necesidad de tener éxito. Con base en esta categorización teórica inicial Martín-Díaz y Kempa, (1991) y Bacas y Martín-Díaz (1992), evaluaron el perfil motivacional de estudiantes en el

área de las ciencias naturales con el propósito de demostrar empíricamente la existencia de los modelos teóricos mencionados inicialmente. A continuación describimos las tipologías motivacionales según Bacas y Martín-Días (1992).

Tipología	Caracterización
Alumnos curioso:	<p>Gran interés en aprender sobre nuevos sucesos o fenómenos científicos, incluso sobre aquellos que no aparecen en los libro de texto.</p> <p>Inclinación a examinar, explorar y manipular la información.</p> <p>Obtención de satisfacción como consecuencia de esta exploración y manipulación.</p> <p>Búsqueda de complejidad en las actividades escolares.</p> <p>Prefieren estar “envueltos activamente” en su aprendizaje.</p> <p>Les gusta descubrir, buscar información, tomar decisiones, etc.</p> <p>No necesitan unos objetivos claramente especificados, por el contrario prefieren un aprendizaje que requiera de su participación activa que les implique manipular información, juzgar y decidir.</p>
Alumno concienzudo:	<p>Deseo de hacer aquello que está bien y evitar lo que está mal.</p> <p>Incapacidad para saber cuando ha cumplido perfectamente con sus obligaciones.</p> <p>Necesidad de soporte externo.</p> <p>Desarrollo de sentimientos de culpabilidad frente a cualquier incapacidad.</p> <p>Falta de confianza en sí mismo o intolerancia ante los errores cometidos.</p> <p>Prefieren métodos de enseñanza con objetivos claros y precisos.</p> <p>Desean fuertemente ser evaluados con frecuencia por sus profesores.</p> <p>No muestran rechazo o preferencia por el aprendizaje por descubrimiento.</p>
Alumno sociable:	<p>Necesidad de conseguir y mantener buenas relaciones de amistad con los compañeros.</p> <p>Muy buena disposición para ayudar a los compañeros en todas las actividades escolares.</p> <p>Ningún temor a “fallar” en las situaciones escolares orientadas hacia el éxito académico.</p> <p>Concesión de mayor importancia a las relaciones de amistad que a las actividades y factores escolares.</p> <p>Preferencia del trabajo en grupo.</p> <p>Desean seguir su propia iniciativa y rechazan ser evaluados.</p> <p>Prefieren el aprendizaje por descubrimiento y el trabajo práctico que las explicaciones teóricas.</p>
Alumno buscador de éxito:	<p>Preferencia por situaciones competitivas.</p> <p>Necesidad de obtener éxito en dichas situaciones.</p> <p>Necesidad de conseguir estima y prestigio del profesor y del resto de los compañeros, como consecuencia de la victoria en ellas.</p> <p>Prefieren actividades con un grado medio de dificultad, o hasta eligen actividades fáciles para empezar y otras de dificultad creciente una vez han tenido éxito en las primeras.</p>

Perfiles motivacionales de los estudiantes para el aprendizaje de las ciencias. Tomado de Bacas y Martín-Días, 1992).

3. 10. Estudios sobre el campo conceptual de respiración.

3. 10. 1. Introducción.

En este trabajo planteamos el estudio multidimensional de la evolución de los conceptos científicos al interior del campo conceptual de la respiración. En este aparte presentamos inicialmente algunos aspectos históricos importantes acerca de la respiración y concluimos con los modelos explicativos más aceptados en la actualidad por la comunidad científica. Presentamos además algunos de los aportes más significativos en la investigación acerca de la respiración en el campo de la didáctica.

3. 10. 2. El concepto de respiración en la antigüedad.

El desarrollo de los conceptos de la respiración se remonta a la antigüedad; como ejemplo podemos citar el conocimiento existente entre los antiguos sobre la respiración, la elaboración del pan, la cerveza, y los derivados lácteos. El desarrollo de los conceptos actuales de la bioenergética --- entendida como la rama de la bioquímica que estudia los mecanismos de producción y utilización de energía en forma de compuestos ricos en energía y de poder reductor, en seres vivos, así como el acoplamiento de los diversos mecanismos de estas dos clases de procesos---, ha estado ligado históricamente al campo conceptual de la respiración, cuyo estudio abarca un conjunto diverso de fenómenos que incluye, entre otros, aspectos relacionados con la ventilación, el sistema circulatorio, la difusión-transporte y transformación de los gases, la vida celular y tisular, el transporte electrónico y los procesos de oxidación-reducción.

La larga historia que ha recorrido el campo conceptual de la respiración se remonta a considerarla como una condición para la vida y para la conciencia, en donde tanto el aliento como la sangre son consideradas como una doble fuente de vida. Esta visión fue compartida por los filósofos griegos quienes situaban al corazón como el órgano receptor del aliento y como tal, el órgano respiratorio.

Platón da una doble funcionalidad a la respiración: satisfacer las necesidades nutritivas del cuerpo y enfriarlo debido al calentamiento que sufría, dada la producción de calor interno. Con esta concepción de la respiración se acepta la presencia de partículas en el aire cuya función era la de alimentar el cuerpo. Aristóteles presenta la respiración con una finalidad netamente fisiológica; elimina sus posibles relaciones con las sensaciones, con el alma, y hace de la respiración un mecanismo de refrigeración del calor interno.

En virtud de la gran influencia de los filósofos griegos sobre el pensamiento “científico” no sólo en su época sino también pasados muchos siglos, las diferentes concepciones de la respiración elaboradas por los científicos modernos estuvieron impregnadas de esta doble funcionalidad mencionada anteriormente.

3. 10. 3. La respiración para los científicos modernos.

La respiración, vista inicialmente por los griegos como fuente de vida y de calor interno pasa a ser considerada por Lavoisier en el siglo XVIII como una combustión lenta. Hasta este momento las observaciones fueron realizadas en organismos y basadas específicamente en estudios fisiológicos de sus aparatos respiratorios, así como del intercambio de gases. Para Lavoisier, “la respiración es una combustión lenta de una porción de carbono que contiene la sangre, y que el calor animal lo mantiene una porción de calórico que se desprende cuando el aire vital de la atmósfera se convierte en gas carbónico, como ocurre en toda combustión del carbono” (Giordan, et al. 1988).

Diferentes investigadores de la época realizaron estudios desde muy diversas perspectivas con el propósito de comprender lo sucedido en la respiración. Se destacan entre otros, según Giordan 1988, los trabajos encaminados a evaluar la relación entre el O₂ entrante y el CO₂ saliente, (Allen y Peppys, Dulong, Desprezt); los orientados a buscar los componentes de la sangre que intervienen en la oxidación, (Berzelius, Liebig); y los centrados en nuevas mediciones termodinámicas que sentaron las bases para el estudio del metabolismo realizados entre los años 1820 y 1850. Sólo a finales del siglo XIX con el desarrollo de la segunda ley de la termodinámica y los conceptos de entropía y entalpía (Clausius, Kelvin, 1850-1852), de la termodinámica aplicada a la química (Gibbs, Helmholtz, 1847) y de la calorimetría (Thomson, 1875; Berthelot, 1881; Rubner, 1894), se logra medir la producción de calor considerando la relación entre el carbono y el hidrógeno intercambiados en la respiración

Son importantes los aportes de Galeno quien estudia aspectos anatómicos del pulmón y del corazón, además de estudiar la mecánica respiratoria. Llega a concluir que las funciones de la respiración son: la refrigeración del cuerpo, producir el aliento vital y el calor interno, lo cual sucede en el corazón, y eliminar del cuerpo productos fuliginosos gracias a lo cual no se extingue la combustión. Las ideas de Galeno se imponen hasta el siglo XVII y XVIII. (ver figura 3. 3).

No obstante diferentes descripciones de la respiración realizadas a partir de estudios morfológicos del pulmón y del sistema circulatorio adelantadas en los siglos XV y XVI, las interpretaciones se realizaban desde el marco galénico. Sólo con los postulados de Vesalio, quien pone en duda la existencia de poros en el tabique interventricular propuestos por Galeno, de Malpighi, quien centró la

atención en la microestructura de los pulmones y en los mecanismos de intercambio de gases, y de Hooke, quien consideró que no existía aire en las venas pulmonares, se empieza a desplazar la idea del fuego interior y del aliento vital; toman así fuerza los mecanismos de ventilación y la transformación del aire una vez es respirado, (Giordan et al. 1988).

Durante el siglo XVII los científicos se ocuparon de estudiar si la sangre sufría transformaciones a su paso por los pulmones, y de ser así cuáles eran las relaciones entre estas transformaciones y su movimiento. Dentro de los fenómenos más estudiados relacionados con lo anterior se destaca el cambio de color de la sangre, el cual según van Helmont se debía a la fermentación sufrida por ésta en el ventrículo izquierdo.

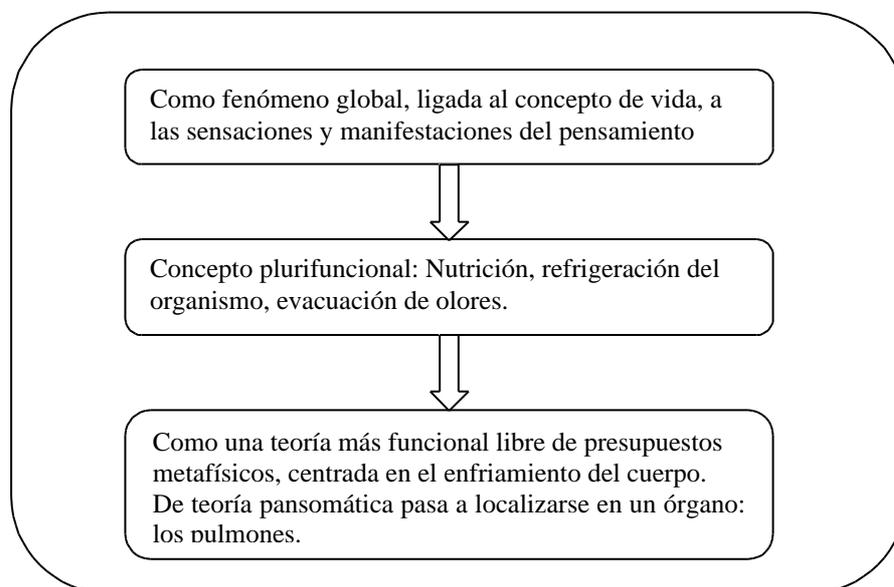


Figura 3. 3: Evolución de las ideas respecto del campo conceptual de la respiración hasta el siglo XVII.

Hasta finales del siglo XVIII se mantienen las ideas de Mayow, quien propone un sistema por el cual el aire transmite a la sangre una sustancia responsable del cambio de color y de la producción de calor; según Mayow, estas partículas desaparecen en la medida en que son consumidas, y es necesario un nuevo paso por los pulmones para que la sangre pueda re-abastecerse.

Con los aportes de Priestley se propone un nuevo modelo en el que la sangre llega a los pulmones cargada de flogisto y sale desflogisticada. Según él, la espiración elimina el exceso de flogisto y la respiración flogistiza el aire y lo hace irrespirable al tiempo que produce aire fijo. Se llega de esta forma a aceptar que la respiración ejerce “una acción evidente sobre el aire de la atmósfera, que

disminuye de volumen, que cambia de naturaleza y que en un intervalo de tiempo bastante breve, el fluido que sirve para esta función pierde la propiedad de mantener la vida de los animales”, (Giordan et al. 1988).

Frente a las interpretaciones de la respiración en términos vitalistas, Lavoisier, Laplace y Seguin, proponen una perspectiva determinista. Con este propósito se adelantaron estudios calorimétricos sobre la respiración cuyas conclusiones se orientaban a considerar la respiración como una combustión muy lenta producida en el interior de los pulmones.

“la respiración es una combustión lenta de una porción de carbono que contiene la sangre, y que el calor animal lo mantiene una porción de calórico que se desprende cuando el aire vital de la atmósfera se convierte en gas carbónico, como ocurre en toda combustión del carbono” (Lavoisier, 1777, citado por Giordan, et al 1988).

Considerar la respiración como una combustión condujo a los investigadores de la época a nuevos problemas importantes en cuanto al estudio de las concentraciones del O₂ y CO₂ en el aire inspirado y espirado, al estudio de los compuestos de la sangre que participan en la oxidación y a estudios termodinámicos con que permitieron determinar que el calor producido por el animal era igual al calor de combustión de los elementos.

A finales del siglo XIX con el descubrimiento de las mitocondrias, los citocromos y los estudios metabólicos, se llegó a diferenciar entre respiración y combustión. A principios del siglo XX con el descubrimiento de las deshidrogenasas, las enzimas respiratorias, la glucólisis, el ciclo de Krebs y el ciclo del ATP, se llega a proponer un modelo para la respiración a nivel molecular. La última fase en el desarrollo de los conceptos de la bioenergética se dan a nivel ultraestructural con el planteamiento de la teoría quimiosmótica, (ver figura 4).

3. 10. 4. Consolidación del campo conceptual de la respiración. Sus modelos explicativos centrales.

Dentro de los aspectos teóricos más importantes que han orientado el desarrollo del campo conceptual de la respiración se encuentran los realizados por Meyerhof (1884-1951). Su sistema experimental tomado como referencia fue el músculo, en él estudió el modo como la energía potencial de los alimentos se hace asequible a las células; aportó además al esclarecimiento de las transformaciones energéticas que permiten el funcionamiento y mantenimiento de los organismos vivos. Dentro de sus aportes importantes se destaca la noción básica de acoplamiento químico y energético de las reacciones celulares. (Ver figura 3. 4).

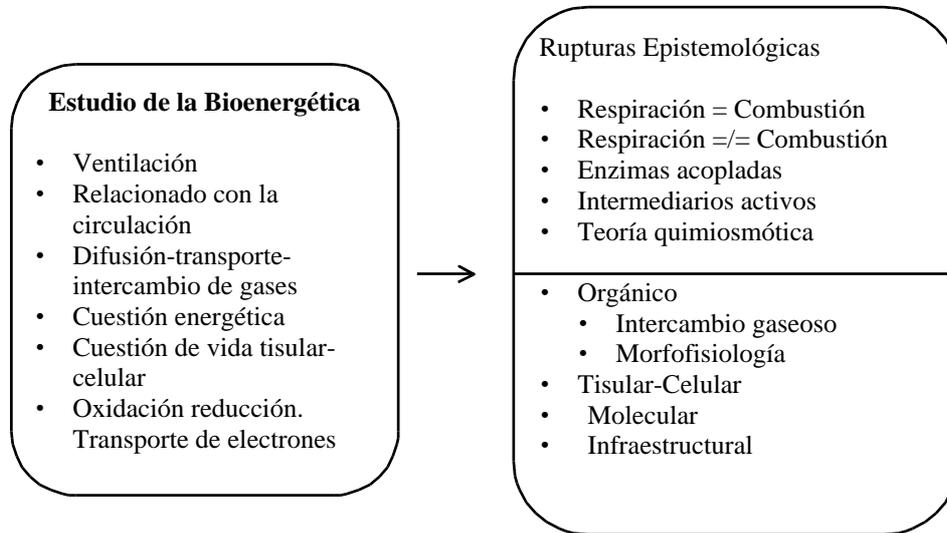


Figura 3. 4: El estudio de la bioenergética y sus principales rupturas epistemológicas.

Dentro de estos desarrollos teóricos se destacan los aportes Mitchell 1979 y Nicholls 1992, quienes proponen el concepto de metabolismo vectorial en el que las reacciones enzimáticas se consideran intrínsecamente vectoriales; en estas reacciones es posible encontrar un complejo enzimático dentro de la membrana (intrínseco), el cual permite que la ruta de la reacción pueda atravesar la barrera de la membrana, con la catálisis simultánea de una reacción química y la traslación de un grupo vectorial.

En el estudio de la bioenergética, se han definido tres conceptos centrales a partir de los cuales es posible explicar el proceso de la respiración desde una perspectiva molecular; estos aspectos reúnen los aportes de, Meyerhof, Warburg, Oswald, Lundsgaard, Lipmann, Kaplan y Mitchell entre muchos otros.

1. Ciclo ADP-ATP. La energía libre liberada por las reacciones metabólicas se almacena en forma de ATP principalmente, o se disipa como calor. La energía almacenada como enlaces de fosfato se utiliza para cualquier trabajo o biosíntesis celular.
2. Ciclo del fosfato, el cual se da en tres fases:
 - Incorporación de fosfato inorgánico en enlaces macroérgicos mediante acoplamiento con reacciones de oxidación
 - Transferencia de fosfatos macroérgicos al adenosinmonofosfato

- Utilización de la energía libre del enlace pirofosfato de alta energía del ATP con la liberación de fosfato inorgánico.

Llegar a este segundo gran paradigma supuso la maduración del concepto de acoplamiento entre oxidorreducción y formación de compuestos ricos en energía.

3. Hipótesis quimiosmótica. Une el transporte electrónico, la síntesis e hidrólisis del ATP y el transporte de solutos a nivel de membranas celulares. Esta teoría une la bioenergética con la electrofisiología clásica; explica cómo las células almacenan energía química en forma de ATP a partir de la fosforilación oxidativa o fotosintética en tejidos, bacterias o cloroplastos.

3. 10. 5. Estudios actuales en el campo conceptual de la respiración

Un primer grupo de estudios está relacionado con propuestas de investigación encaminadas a establecer los conceptos centrales que han orientado la enseñanza del campo conceptual de la respiración en los diferentes niveles educativos. En este primer grupo son importantes las relaciones establecidas entre la ciencia, la ciencia enseñada y la ciencia aprendida, (Chevallard, 1985; Dupin y Josua 1993), lo cual lleva a reflexionar sobre las más frecuentes transposiciones didácticas que puede tener el campo científico de la bioenergética.

Grosbois, Ricco & Sirota 1991, analizaron las diferentes transposiciones del concepto de respiración encontradas en los manuales escolares de segundo ciclo de enseñanza secundaria general antes y después de la reforma de la educación francesa. Encontraron que la enseñanza de los conceptos relacionados con la respiración en los textos antes de la reforma se caracteriza por presentar un saber propio de finales del siglo XIX, centrado en el intercambio gaseoso y en la mecánica del aparato respiratorio. Los textos posteriores a la reforma presentan un saber actualizado a nivel molecular, las pocas prácticas realizadas se caracterizan por carecer de hipótesis, ser descontextualizadas y no responder a problemas específicos.

Un segundo grupo de estudios tiene como orientación central establecer las concepciones de los estudiantes sobre la respiración. Banet y Nuñez (1990), y Nuñez y Banet (1996), han estudiado los esquemas conceptuales de los alumnos sobre este concepto; llaman la atención sobre la tendencia mostrada por los estudiantes a hacer referencia a la respiración como intercambio de gases. En el segundo estudio citado se centran en el establecimiento de modelos conceptuales

de los estudiantes sobre respiración, digestión y circulación, y las relaciones que se dan entre ellos.

Destacan estos autores el predominio de los modelos conceptuales no relacionados, caracterizados por no identificar adecuadamente el papel del sistema circulatorio en los procesos de respiración y digestión. Encuentran que la comprensión de las relaciones entre respiración y circulación presenta más dificultades para los estudiantes que la comprensión de las relaciones entre digestión y circulación.

En un sentido cercano al anterior García (1991), realizó un estudio sobre las representaciones de la respiración celular en alumnos de bachillerato y de COU. Su objetivo central fue establecer si los alumnos de 1º, 3º y de COU que cursan estudios en ciencias naturales presentan ideas alternativas respecto a la respiración celular y si estas son persistentes o no. Reporta la inexistencia de diferencias significativas entre los diferentes grupos estudiados lo cual, según el autor, indica un mal planteamiento de la asignatura de ciencias naturales en estos niveles educativos, no haciendo progresar los esquemas conceptuales de los alumnos.

Desde la perspectiva del pensamiento biológico, Hatano & Inagaki (1997) destacan que los niños adquieren de manera autónoma una forma de biología intuitiva y que sólo más tarde ocurren cambios cualitativos. Identifican dos tipos de cambios: el primero en conductas predictivas y atribución de propiedades a objetos animados, y el segundo en los modos de explicación: pasan de vitalistas a mecanicistas.

Vuala (1991), estudió la evolución de las concepciones de los estudiantes de curso medio sobre la respiración con el empleo de series de dibujos animados. Destaca la importancia de esta estrategia de enseñanza para la construcción del conocimiento científico y para la identificación de obstáculos para el aprendizaje de los conceptos. En cuanto a la respiración destaca como obstáculos en el grupo de estudio:

- La caracterización de la respiración como un proceso de intercambio de gases entre los cuerpos y el medio exterior
- Su representación a nivel del aparato respiratorio
- Suponer relaciones entre ritmo cardíaco y ritmo respiratorio
- Establecer relaciones entre pulmones y órganos con el oxígeno
- Construir las relaciones entre el funcionamiento de los órganos y la eliminación del CO₂.

El estudio realizado por Paccaud (1991), destaca la importancia de considerar las concepciones de los estudiantes como herramientas de aprendizaje. Ubica el

estudio de la respiración en diferentes niveles: mecánico, fisicoquímico, celular y citobioquímico.

Desde la perspectiva de la Bioenergética, son pocos los estudios encontrados. Bligh (1987), aborda el tema de la confusión entre algunos de sus conceptos centrales como la ecuación de Nernst, los gradientes de energía y los potenciales redox. Destaca que estos errores son en muchos casos apoyados por los textos.

Königsberg (1999), desde una perspectiva experimental y consciente de la dificultad de los estudiantes para la comprensión de la cadena respiratoria a nivel mitocondrial, propone enseñar este concepto con base en modelos. Para él, los estudiantes al usar los modelos pueden comprender el flujo de los electrones, su movimiento, la traslocación de los protones, la hipótesis quimiosmótica y el efecto de los inhibidores. Identifica como conceptos centrales de la respiración celular: los complejos intramembranosos, el transporte electrónico y la traslocación de protones, la diferencia de potenciales y la hipótesis quimiosmótica entre otros.

Cercano al estudio de Königsberg citamos el de Olsher & Beit (1999), quienes plantean que los estudiantes de 14-15 años frente al conocimiento de los procesos biológicos se encuentran ante a una especie de *caja negra* constituida por los procesos bioquímicos, los cuales pueden llegar a ser el centro de los cuestionamientos realizados por ellos. La dificultad para el aprendizaje de estos conceptos abstractos es en parte debido a que mencionados procesos no pueden ser percibidos por los sistemas sensoriales de los estudiantes y además, son procesos que no tienen equivalentes en su experiencia personal.

Es claro que el estudio de la respiración y más específicamente, el de la bioenergética, ha sido tema de investigación desde hace muchos siglos. Ha sido y es un concepto que requiere para su estudio y aprendizaje, el establecimiento de un sinnúmero de relaciones orientadas tanto a delimitar su campo específico como a esclarecer sus relaciones directas e indirectas con muchos otros procesos celulares y corporales. Es claro además que es un concepto que se puede estudiar a muy diferentes niveles, en los que se encuentra la tendencia generalizada a considerarlo como el simple intercambio gaseoso distanciado casi por completo de los procesos de producción de energía por el organismo. Como si fuera poco, es un concepto que requiere para su comprensión el conocimiento detallado de un número importante de conceptos químicos, fisicoquímicos y bioquímicos y sus relaciones, lo que hace indudablemente más difícil su aprendizaje significativo.

Se requiere entonces conocer el estado actual de la enseñanza del concepto de bioenergética en la enseñanza secundaria, en el bachillerato y en los primeros años universitarios, con el propósito de elaborar posibles secuencias evolutivas del aprendizaje de este concepto por parte de los estudiantes, que inspiren nuevas

propuestas didácticas que permitan acercar los conceptos aprendidos por los estudiantes al campo conceptual aceptado científicamente.

3. 11. Integración entre las dimensiones conceptual, cognitivo-lingüística, metacognitiva y motivacional en el estudio de la evolución conceptual.

Si queremos comprender mejor los procesos de aprendizaje y de evolución de los conceptos científicos de los estudiantes es necesaria la integración de “todas” las dimensiones que intervienen en el aprendizaje y evolución de los conceptos. En nuestro caso hemos seleccionado 4 dimensiones que consideramos nos pueden aportar conocimiento más detallado para responder a las preguntas: ¿cómo se produce la evolución conceptual de los estudiantes en el aula? y, ¿qué factores la favorecen? Es claro que con el estudio de las dimensiones *conceptual, cognitivo-lingüística, metacognitiva y motivacional* sólo lograremos, en el mejor de los casos, una **aproximación** al estudio integral de la evolución conceptual.

La dificultad del estudio multidimensional que proponemos es grande debido, entre otros aspectos, a las diferentes estrategias metodológicas empleadas al interior de cada una de ellas. La investigación al interior de cada una de las dimensiones mencionadas tiene su propia tradición investigativa en la cual su aporte a al estudio de la evolución conceptual es más o menos específico. No obstante, consideramos que es posible encontrar puntos comunes que permiten establecer vínculos a partir de los cuales nos aproximemos de una manera más holística al estudio de los conceptos científicos.

Igualmente es importante para el diseño curricular la necesidad de conocer a profundidad algunos de los posibles procesos seguidos por los estudiantes para la construcción de los conceptos científicos, sus obstáculos más relevantes y sus múltiples transformaciones como resultado de la vida escolar. Desde esta perspectiva, el desarrollo de planes curriculares en las diferentes ciencias deberán considerar, como uno de los puntos obligados de reflexión, los múltiples factores que inciden en el aprendizaje de los conceptos científicos y cómo éstos últimos evolucionan, antes que entrar a proponer posibles estrategias didácticas para su enseñanza

4

Metodología

4. 1. Consideraciones metodológicas generales

Tradicionalmente en el estudio del cambio o evolución conceptual se han empleado metodologías que exploran dimensiones específicas dentro de las que se ha destacado la dimensión conceptual como las más estudiada. Considerar el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional en la que se consideren las dimensiones cognitivo-lingüística, conceptual, metacognitiva y motivacional requiere explorar metodologías que permitan realizar análisis al interior de cada una de estas dimensiones, así como análisis integrados con el propósito de construir nuevos significados entre ellas.

En la actualidad se reconoce la complejidad metodológica en el estudio de la evolución conceptual, debida, entre otras razones, a las diferentes dimensiones o categorías que se integran en su estudio, a la necesidad de realizar estudios longitudinales en los que se integren análisis cualitativos y cuantitativos y a la dificultad de relacionar, por ejemplo, el conocimiento personal de los estudiantes con el conocimiento social en un área determinada. Dentro de los diferentes tipos de investigación que han profundizado en el conocimiento de la evolución conceptual, se destacan los estudios micro-genéticos (Siegler, 1995); se han empleado igualmente investigaciones centradas en la naturaleza situada del conocimiento (Hedegaard, 1998; von Aufschnaiter & Niedderer, 1998).

A partir de las dimensiones descritas por Goetz y Lecompte (1988), consideramos que nuestra investigación es de carácter *inductivo*; en ella se construye y re-construyen las categorías teóricas a partir del análisis recurrente de los datos. Es un tipo de investigación *generativa* dado su interés por el “descubrimiento” y comprensión de posibles relaciones que se producen entre las diferentes categorías estudiadas: Es de anotar que la investigación se inició con marcos teóricos de referencia los cuales se fueron re-construyendo a lo largo del análisis de la información. En cuanto a la manera de formulación y al diseño de unidades de

análisis, el estudio se enmarca dentro de la dimensión *constructiva* la cual esta orientada al descubrimiento de las categorías que pueden obtenerse a partir de las descripciones que se realizan. Por ultimo, en cuanto a las estrategias de recolección y análisis de información la investigación es de tipo *subjetivo*.

Con relación a las estrategias analíticas utilizadas, nuestra investigación se ubica entre la *inducción analítica* y las *comparaciones constantes*, (ver figura 4.1). A partir del “primer” análisis de los textos de los estudiantes identificamos las principales categorías de análisis y posibles relaciones entre estas; tanto las categorías como las relaciones en las que éstas participan se fueron re-construyendo continuamente durante el análisis de los datos. El hecho de comparar continuamente las diferentes conceptualizaciones de los estudiantes puede llevar a la construcción de nuevas dimensiones y al establecimiento de nuevas relaciones entre las categorías estudiadas.

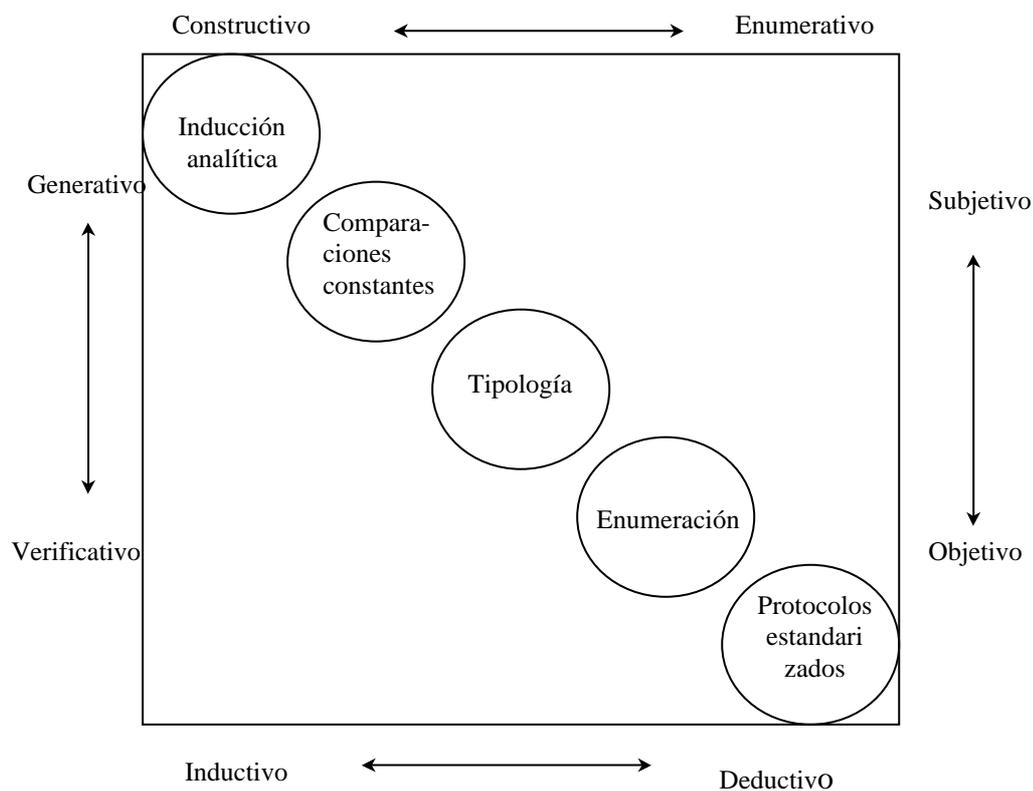


Figura 4. 1: características relativas de las estrategias analíticas empleadas en la investigación. Modificado de Goetz y LeCompte, 1988)

En nuestro caso, a diferencia de la *inducción analítica*, no pretendemos elaborar explicaciones o interpretaciones de carácter general; no buscamos realizar generalizaciones extremas sobre la evolución conceptual de los estudiantes, en lugar

de ello, pretendemos realizar comprensiones mas holísticas de los casos analizados en los cuales las comparaciones nos orientan en la elaboración de futuras hipótesis de investigación. De igual manera, no renunciamos por completo a la posibilidad de encontrar algunas relaciones potencialmente generalizadoras, sin ser este el interés analítico que nos mueve.

La definición de las categorías de análisis para la investigación se realizó mediante la interacción permanente entre los datos recolectados, la discusión con otros investigadores y las fuentes bibliográficas disponibles. Una vez realizados los análisis iniciales, se volvió de manera reiterada a los datos con el propósito de precisar las categorías inicialmente definidas. Este proceso se repitió hasta lograr acuerdo entre los investigadores, (ver figura 4.2) y la información disponible.

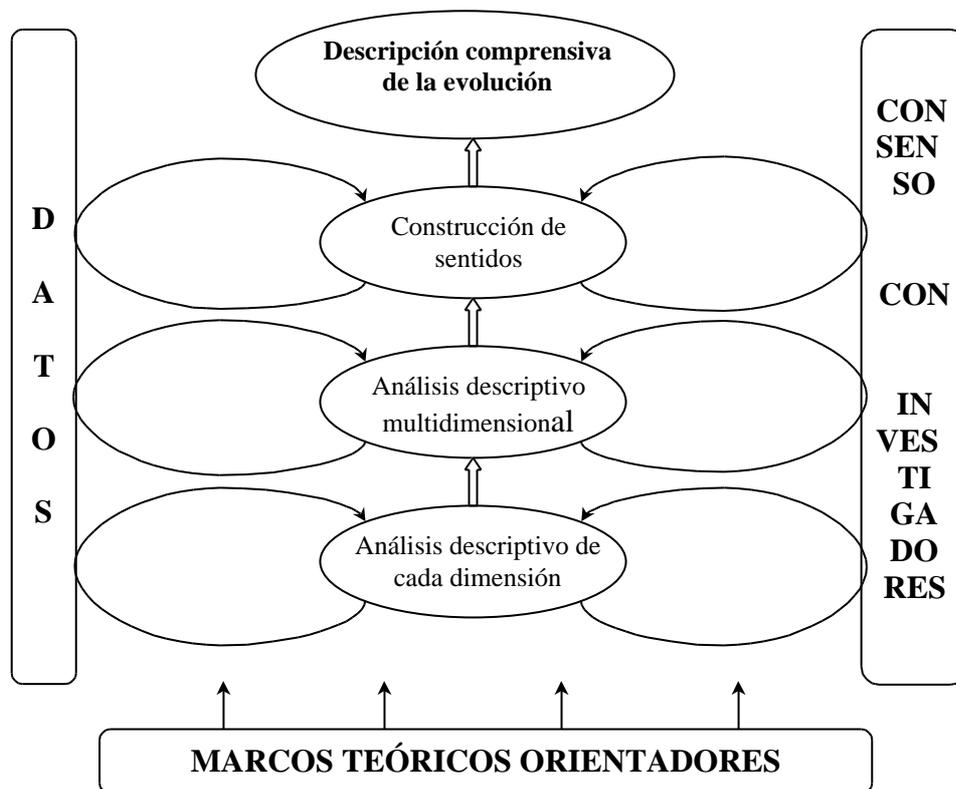


Figura 4.2. Diseño general del análisis de la información. Se destaca la interacción continua entre los datos, los marcos teóricos y la discusión con otros investigadores

En cuanto al papel de la *teoría* en el diseño de la investigación, no ponemos en duda la incidencia de un conjunto de supuestos teóricos orientadores en el trabajo presentado. En el estudio realizado es claro que el interés central no fue verificar

alguna o algunas de las teorías existentes de la evolución conceptual; igualmente es claro que no tratamos de generar una nueva teoría para el problema estudiado.

Se espera que los resultados sean *comparables* y *traducibles* a otros grupos semejantes y diferentes al investigado. Desde esta perspectiva de la intención generalizadora de los resultados, es importante mencionar que el estudio se realizó durante un curso “normal” de bachillerato. Se sugirieron actividades académicas complementarias que fueron coordinadas por el profesor y sirvieron para recoger datos y se trató de mantener el ambiente natural del aula, En síntesis, se buscó que el ambiente del aula fuera natural, con la menor manipulación posible por parte del investigador. Sin embargo, no hay duda de la posible y casi segura influencia del investigador y del proceso de recolección de información sobre los resultados de la investigación.

4. 1. 1. ¿Por qué el estudio de la evolución conceptual a partir del análisis del discurso escrito de los estudiantes?

Consideramos que el análisis del discurso de los estudiantes al interior de dominios específicos del conocimiento permite evaluar la evolución conceptual, (Duit, et al., 1998; Jones, et al., 2000). No obstante las múltiples formas de acción empleadas en el aula, las formas de comunicación escrita y oral continúan siendo la clase más común de símbolos empleados en la educación, en esta línea de pensamiento el análisis del discurso escrito por los estudiantes se constituye entonces como herramienta metodológica central en nuestra investigación.

Mediante el análisis del discurso escrito de los estudiantes podemos acercarnos comprensivamente a sus diferentes representaciones sobre los fenómenos relacionados con la respiración. De igual manera el análisis de los textos nos puede informar sobre aspectos de diferente naturaleza, tales como los relacionados con el conocimiento cotidiano y el científico. Destacamos además la estrecha relación que existe entre la evolución conceptual y, en términos mas generales, el aprendizaje de los conceptos científicos con el uso adecuado del lenguaje propio de la ciencia.

En términos de Martí y Pozo (2000), un texto, como sistema externo de representación que es, es un modelo de la realidad a la que hace referencia según ciertas restricciones y, como modelo representativo, crea nuevas realidades y nuevas relaciones. Consideramos que tanto los textos analizados por los estudiantes en las diferentes preguntas, como los elaborados por ellos son re-creaciones de nuevas realidades a partir de las cuales podemos analizar su evolución conceptual.

El análisis de la evolución conceptual de los estudiantes se realizó a partir de los textos escritos por ellos. A partir de estos analizamos principalmente la *coherencia* (van Dijk, 1989) de los textos escritos por ellos y el *tipo de representación* (Ericsson

& Kintsch, 1995), que elaboran al realizar la crítica a un texto. Igualmente se realizaron análisis de la estructura general del discurso escrito de los estudiantes, tales como uso de conectores, tipo de discurso y causalidad. En términos globales consideramos que el análisis lingüístico realizado se corresponde con un análisis de contenidos, llamado también proposicional.

4. 1. 2. Validez

Los diferentes cuestionarios empleados para la recolección de la información correspondiente a la tesis de maestría fueron validados mediante la realización de pruebas piloto a partir de las cuales se realizaron las modificaciones correspondientes. Con base en los lineamientos generales encontrados, se diseñaron los cuestionarios utilizados para recoger la información en las siguientes fases de la investigación. En el diseño de los instrumentos de investigación se tuvo cuidado en presentar un conjunto amplio de preguntas o de situaciones a partir del cual fuera posible contrastar las respuestas dadas por los estudiantes

La validación de los análisis realizados se llevo a cabo mediante la triangulación entre los diferentes textos escritos por los estudiantes y a través la discusión de los análisis preliminares con otros investigadores. Con base en estos análisis, y a partir de “nuevas lecturas de los datos” se precisaron diferentes categorías y se generaron otras nuevas. De igual forma los análisis preliminares se cotejaron con otros resultados de investigación reportados en la literatura científica.

4. 2. Metodología de la investigación

Investigar la evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional requiere a nuestro entender realizar análisis comprensivos a partir de los cuales podamos proponer respuestas más integrales a la pregunta ¿cómo se produce la evolución conceptual de los estudiantes en clases de ciencias? Para responder a esta pregunta tomamos como eje central de nuestra investigación la evolución de los conceptos relacionados con el campo conceptual de la respiración, eje al cual integramos las categorías cognitivo-lingüística y metacognitivo-motivacional.

4. 2. 1. Objetivos generales.

1. Abordar el estudio de la evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional que reúna aportes de las dimensiones conceptual, cognitivo-lingüística, metacognitiva y motivacional.

2. Comprender posibles interacciones entre los aspectos cognitivo-lingüísticos, motivacionales, metacognitivos y conceptuales que faciliten u obstaculicen la evolución conceptual de los estudiantes.
3. Identificar algunos aspectos profundos y superficiales de la estructura cognitiva de los estudiantes que incidan en su evolución conceptual.
4. Elaborar un modelo teórico general para la evolución conceptual del concepto de respiración que integre las diferentes dimensiones estudiadas.

4. 2. 2. Objetivos específicos:

4. 2. 2. 1. Desde la perspectiva conceptual:

- Lograr una mejor comprensión de la evolución conceptual de los estudiantes.
- Identificar los aspectos conceptuales más estables y los más dinámicos de los estudiantes en el campo conceptual de la respiración.

4. 2. 2. 2. Desde la perspectiva cognitivo-lingüística:

- Describir comprensivamente posibles relaciones entre el discurso escrito de los estudiantes y su evolución conceptual.
- Identificar algunos aspectos cognitivo-lingüísticos que se puedan constituir como obstáculos en el aprendizaje y evolución de los conceptos científicos.

4. 2. 2. 3. Desde las perspectivas metacognitiva y motivacional:

- Caracterizar en forma general el conocimiento metacognitivo de los estudiantes y establecer su posible influencia sobre sus procesos de evolución conceptual.
- Establecer cómo se relacionan las diferentes tipologías motivacionales de los estudiantes con sus procesos de evolución conceptual

4. 3. Preguntas generales orientadoras de la investigación

- ¿Durante los dos años de la investigación se dio algún tipo de evolución conceptual en los estudiantes? De ser así, cómo se puede caracterizar la evolución conceptual?

- ¿Cómo interactúan algunos aspectos conceptuales, cognitivo-lingüísticos, metacognitivos y motivacionales en la evolución de los conceptos científicos?
- ¿Cómo relacionan los estudiantes los aspectos conceptuales profundos y los superficiales con los nuevos conocimientos presentados en el aula?

4. 4. Diseño de la investigación

La investigación se realizó en tres momentos: *diagnóstico* de las concepciones de los estudiantes, realizado durante el primer curso académico; *intervención del profesor/investigador*, llevada a cabo en el segundo curso académico y durante el estudio de la unidad didáctica “metabolismo” y *construcción de sentidos*, realizado un mes después del estudio de la unidad didáctica mencionada, (ver figura 4.3). A continuación describimos cada uno de estos momentos de la investigación.

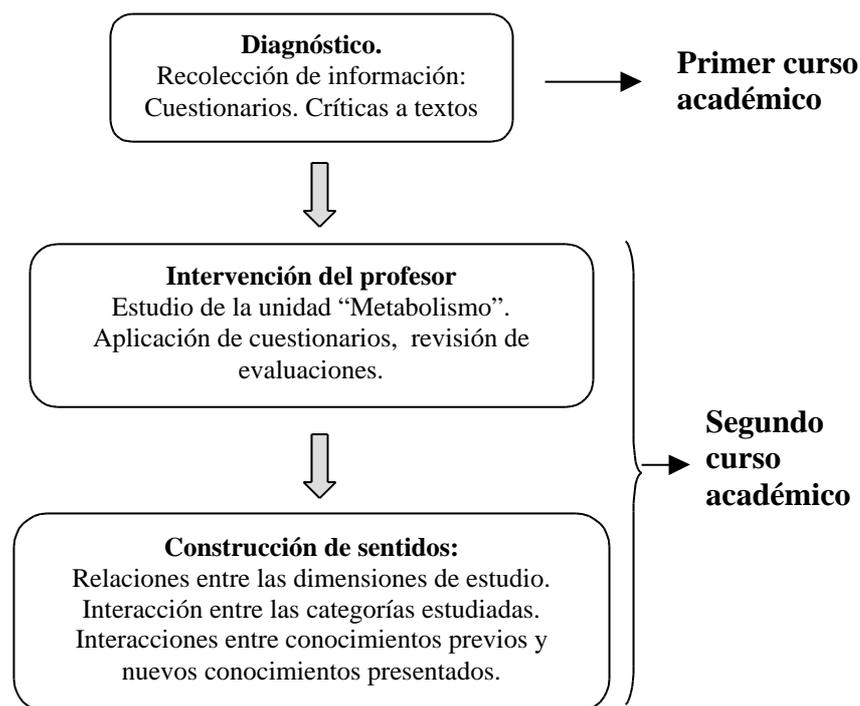


Figura 4. 3 : Diseño general de la investigación en el que se destacan las diferentes fases de la investigación.

Diagnóstico.

Con el diagnóstico se buscó identificar las concepciones de los estudiantes sobre la respiración. Dado el interés de la investigación, se aplicaron los instrumentos sobre una temática no incluida en los planes curriculares del primer año de la investigación pero que si fuera estudiado durante el segundo año.

Intervención del profesor-investigador

Su duración fue de un trimestre, tiempo durante el cual se estudió la unidad “metabolismo”. En esta fase se recogió la mayor cantidad de información utilizada en la investigación. La intervención didáctica realizada por el profesor siguió los lineamientos de sus cursos anteriores, es decir, el profesor no se planteó una forma de actuar diferente y realizó sus clases como siempre lo había hecho.

Al inicio de la unidad el profesor y el investigador explicaron a los estudiantes la importancia de continuar con la investigación iniciada en el curso anterior con los mismos alumnos. De igual manera se hizo una breve explicación en la que se les presentaron los objetivos y la forma en la que se recolectaría la información durante el segundo curso académico.

Construcción de sentidos

Se inicia con la aplicación de un cuestionarios cuyo propósito es establecer, en unión con los análisis realizados en los *momentos* anteriores, la evolución de las concepciones iniciales de los estudiantes. Como resultado final se elaboraron significados acerca de las relaciones encontradas entre las diferentes categorías estudiadas. De igual manera se identificaron algunos de los aspectos estables y dinámicos dentro de la estructura conceptual de los alumnos. A continuación mostramos el diseño general de la investigación.

4. 5. Ámbito de la experiencia

4. 5. 1. Muestra.

La investigación se inició con un curso de 21 estudiantes de 1º de bachillerato (17 años de edad) del I.E.S.Gorgs ubicado en Cerdanyola del Vallès, (Barcelona), durante los cursos académicos 1998-99 y 1999-2000. El primer informe de investigación presentado (Tamayo, 1999), recoge el *diagnóstico* de la investigación.

A los estudiantes se les presentó de forma general los diferentes aspectos constituyentes de la investigación y se destacó la importancia de participar en ella no solo debido al interés personal del investigador y del profesor sino, además, debido a

que durante el tiempo de la investigación los diferentes cuestionarios podrían serles útiles ya que les podría aportar conocimientos más detallados acerca de sus propios procesos de pensamiento, lo cual les podría servir en sus aprendizajes posteriores. Todos los estudiantes que participaron en la investigación lo hicieron voluntariamente.

Es importante mencionar que de todos los estudiantes se recogió la información completa, sin embargo, por razones prácticas relacionadas con el tipo de análisis realizado, los resultados que se presentan en esta investigación reúnen la información de 4 casos sobre los cuales se realizó el análisis según los tres *momentos* mencionados mencionadas anteriormente. Para la selección de los casos se empleó el criterio de desempeño académico de los estudiantes; se escogieron por conveniencia estudiantes que mostraran rendimiento académico alto (1 estudiante), medio (2 estudiantes) y bajo, (1 estudiante).

4. 5. 2. El profesor y la institución educativa

Debido a que uno de los supuestos teóricos y metodológicos de la investigación partía de realizar las diferentes observaciones y análisis dentro de las condiciones educativas e institucionales “normales”, se eligió un Instituto que cumpliera tales características. El profesor se mostró interesado en colaborar con el desarrollo de la investigación y especificó que el curso que el daba estaba orientado en función de las pruebas de selectividad.

La metodología seguida en el aula se puede considerar como la más habitual entre los profesores de biología de bachillerato. El profesor es un experto en la materia que enseña y tiene considerable experiencia en su enseñanza.

4. 5. 3. El tema estudiado: El metabolismo celular. El catabolismo

La unidad “El metabolismo celular” fue estudiada durante el segundo trimestre del curso académico. En su estudio se siguió un texto guía el cual tenían todos los estudiantes. A continuación se hace una relación de los diferentes temas estudiados en esta unidad (ver tabla 4.1).

Tabla 4.1: Temas estudiados durante la fase 2 de la investigación

El metabolismo celular. El catabolismo	
1. El metabolismo celular	
1.	El concepto de metabolismo
2.	Catabolismo
3.	Anabolismo
	<ul style="list-style-type: none"> • Los tipos de metabolismo • El ATP • Fosforilación a nivel de sustrato • Fosforilación mediante enzimas del grupo de las ATP-sintetasas. • Consumo y regeneración de ATP
2. El catabolismo	
1.	El concepto de catabolismo
	<ul style="list-style-type: none"> • Deshidrogenación • Oxidación
2.	Los tipos de catabolismo
	<ul style="list-style-type: none"> • La fermentación • La respiración
3.	El catabolismo por respiración
1.	El catabolismo de los glúcidos
	<ul style="list-style-type: none"> • Glicólisis • Respiración: el ciclo de Krebs • Respiración: el transporte de electrones en la cadena respiratoria • Rendimiento energético del catabolismo por respiración de la glucosa
2.	El catabolismo de los lípidos
	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación de los ácidos grasos • Rendimiento energético del catabolismo de los ácidos grasos
4.	El catabolismo de los ácidos nucleicos
5.	Catabolismo por fermentación
	<ul style="list-style-type: none"> • Fermentación alcohólica • Fermentación láctica • Fermentación butírica • Fermentación pútrida

4. 6. Categorías de análisis

4. 6. 1. Evolución conceptual

En la figura 4.4 representamos la categoría de estudio **evolución conceptual**, con sus diferentes subcategorías.



Figura 4.4: Diferentes subcategorías estudiadas en la categoría evolución conceptual

- **Concepciones de los estudiantes**

Las concepciones de los estudiantes fueron organizadas según tres criterios:

- Ubicación,
- Función y
- Proceso asignado a la respiración.

- **Modelos explicativos**

Hace referencia a establecer si las conceptualizaciones de los estudiantes responden a la presencia de uno o múltiples modelos explicativos de la respiración. Se toman como referencia los distintos modelos que se han construido históricamente sobre este concepto:

- Vitalista,
- De intercambio de gases (a nivel sistémico y celular),
- De combustión (sistémico y celular), y
- Molecular (o quimiosmótico).

- **Distanciamiento y crítica**

Esta subcategoría reúne tanto conocimientos conceptuales como metaconceptuales. Hace referencia a la capacidad de los estudiantes para criticar sus propios textos y los de sus compañeros. Se discutirá de manera integrada tomando aspectos de las tres categorías analizadas.

4. 6. 2. Categoría de análisis: Análisis cognitivo-lingüístico:

El análisis cognitivo-lingüístico se realizó con el fin de comprender posibles relaciones entre la evolución conceptual y el discurso escrito de los estudiantes. En la investigación se analizaron los textos elaborados por los estudiantes sobre la respiración y se identificaron posibles obstáculos cognitivo-lingüísticos importantes en el aprendizaje de este campo conceptual. Las diferentes conceptualizaciones se

valoraron según dos criterios: *coherencia* y *estructura de discurso*. Estas categorías nos permitieron realizar una caracterización del *tipo de discurso causal* realizado por los estudiantes. En mencionada caracterización ubicamos como aspecto central el criterio de *coherencia*. A continuación representamos la estructura general de la categoría **cognitivo-lingüística**, (ver figura 4.5).



Figura 4.5: Diferentes subcategorías de estudio para la categoría “cognitivo-lingüística”

A continuación definimos cada una de las subcategorías analizadas.

- **Coherencia**

La coherencia de un discurso escrito está determinada tanto por el orden de las oraciones como por su significado en un contexto determinado; puede ser global o local. La coherencia local está en íntima relación con la secuencia de oraciones que constituyen el discurso; puede ser condicional, cuando priman las relaciones condicionales o temporales entre los hechos o las acciones; o funcional, cuando las proposiciones tienen por sí mismas una función semántica definida en términos de las relaciones con las proposiciones previas, (van Dijk, 1989).

En la información semántica de un discurso lo más importante es la explicación contenida en su macroestructura o coherencia global; sin esta no habría control sobre las conexiones locales realizadas y las que les suceden. La ausencia de coherencia global puede llevar a conectar las oraciones de manera apropiada según criterios de coherencia local donde se vinculan hechos o factores sin llegar a relacionarse en función de un tópico específico. En otras palabras la coherencia global del texto orienta el establecimiento de relaciones entre las diferentes proposiciones y oraciones utilizadas en el discurso y a su vez es la información semántica que da unidad total al discurso. En el análisis del discurso de los estudiantes la coherencia local y la coherencia global determinan, en unión con el contexto en el cual se genera el discurso, sus múltiples significados.

- **Representación lingüística**

Se distinguen tres niveles:

- **Representación textual superficial:** Representación elaborada a partir de las palabras presentadas en el texto analizado; se emplean oraciones literalmente iguales a las encontradas en el texto que se analiza.
 - **Representación de la base del texto:** Se especifican diferentes relaciones semánticas entre las diferentes partes del texto analizado. El estudiante puede concertar las ideas encontradas en el texto, para ello puede emplear frases que conservan el mismo significado.
 - **Representación del modelo situacional:** Es una representación de la situación descrita por el texto en la que se pueden realizar re-elaboraciones muy alejadas del texto base.
-
- **Estructura del discurso escrito**

En cuanto a la estructura del discurso analizamos los siguientes tipos:

- **Descriptivo:** Discurso en el cual se observa mayor uso de conectores de certeza y lugar entre las diferentes ideas expresadas por los estudiantes.
 - **Explicativo.** Discurso en el cual se observa un mayor uso de conectores de causa y consecuencia entre las diferentes ideas de los estudiantes
-
- **Causalidad.**
 - **Causalidad simple:** Empleo de relaciones causales entre un bajo número de ideas dispuestas generalmente de manera secuencial, con co-variación simple entre ellas. Se basan en una definición de conceptos en términos absolutos más que como una relación entre otros conceptos previamente definidos (Driver, 1988, Citada por Pozo et al. 1991).
 - **Causalidad compleja:** Empleo de relaciones causales entre más de 2 ideas contenidas en los textos; se da control de variables y co-variación múltiple.

4. 6. 3. Categoría de análisis: Metacognición-motivación

4. 6. 3. 1. Subcategoría metacognición

- La categoría metacognición se estudió de acuerdo con las siguientes subcategorías: *conocimiento sobre cognición, conciencia metacognitiva y regulación*. Los 4 cuestionarios “¿Sé lo que estoy haciendo?” (ver anexos), se emplearon para construir una visión general de los aspectos metacognitivos de los estudiantes. Consideramos que el estudio de esta categoría es importante para lograr una comprensión más integral de la evolución conceptual de los

estudiantes. Su estudio lo realizamos según las siguientes subcategorías:

- **Conocimiento sobre su cognición:** Se refiere al conocimiento que tienen las personas sobre sus propios procesos cognitivos.
 - Es un tipo de *conocimiento declarativo*
 - El conocimiento *procedimental*
 - El conocimiento *condicional*
- **Conciencia metacognitiva:** Conocimiento que tienen los estudiantes de los *propósitos* de las actividades que desarrollan y de la conciencia que tienen sobre su *progreso personal*.
- **Regulación:** Conjunto de actividades que ayudan al estudiante a controlar su aprendizaje, se relaciona con las decisiones del aprendiz antes, durante y después de realizar cierta tarea de aprendizaje.
 - La *planeación*
 - El *monitoreo*
 - La *evaluación*

4. 6. 3. 2. Subcategoría motivación

Con el estudio de esta categoría se identificaron los aspectos motivacionales más relevantes que influyen en la evolución conceptual. Al igual que con los aspectos metaconceptuales, los motivacionales se caracterizan por encontrarse en la base de todo lo que realizamos, pero sobre los que generalmente tenemos poca conciencia y control de su papel en los procesos de aprendizaje; en síntesis, son de carácter implícito. Dentro de esta categoría no se pretende desarrollar nuevas actitudes ni lograr cambios a este nivel derivados de determinados procesos de enseñanza-aprendizaje.

- **Perfil motivacional**

El perfil motivacional de los alumnos se estudió con base en los perfiles descritos por Bacas y Martín-Díaz (1992), quienes describen tipos de estudiantes:

- Curioso
- Concienzudo
- Sociable
- Buscador de éxito

Para la toma de la información se dio a los estudiantes un cuestionario con diferentes descripciones frente a las cuales se les pedía que seleccionaran aquella con la que mejor se identificaran y, posteriormente, debían realizar su propia descripción acerca de cómo se consideraban frente al aprendizaje de las ciencias. El propósito de este análisis es únicamente el de identificar algunos elementos de orden motivacional que puedan incidir de manera importante en la evolución conceptual de los estudiantes.

- **Intereses y motivaciones frente al aprendizaje de las ciencias**

De las descripciones realizadas por los estudiantes sobre sus motivaciones e intereses frente al conocimiento científico y al aprendizaje de las ciencias se destacan aquellas que pueden ser más significativas en el estudio de la evolución conceptual, tales como:

- Actitud frente al aprendizaje de las ciencias
- Seguridad
- Interés
- Auto-estima

A continuación representamos las subcategorías **metacognición** y **motivación**, (ver figura 4.6).

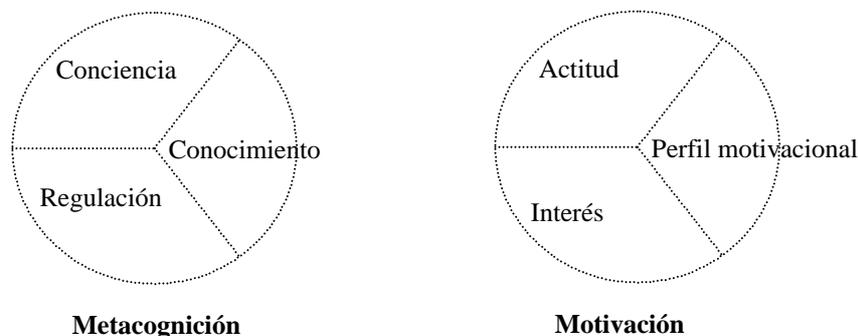


Figura 4.6: Subcategorías estudiadas sobre metacognición y motivación

Conviene recordad en este momento que la categoría **evolución conceptual** integra los aportes de las otras categorías estudiadas. La perspectiva evolutiva se construye a partir del conocimiento de las concepciones de los estudiantes en la fase 1, y su posible cambio, el cual se estudió durante las fases 2 y 3. Las diferencias y semejanzas encontradas entre los desempeños iniciales y finales de los estudiantes (ver figura 4. 2), nos indican a su vez posibles aspectos estables y/o dinámicos de sus estructuras cognitivas.

4. 7. Estructura general para el análisis de la información

La estructura general propuesta para el análisis de la información tiene presente el análisis evolutivo de la categoría evolución conceptual, así como el nivel interrelacional entre las categorías analizadas, (ver figura 4.7).

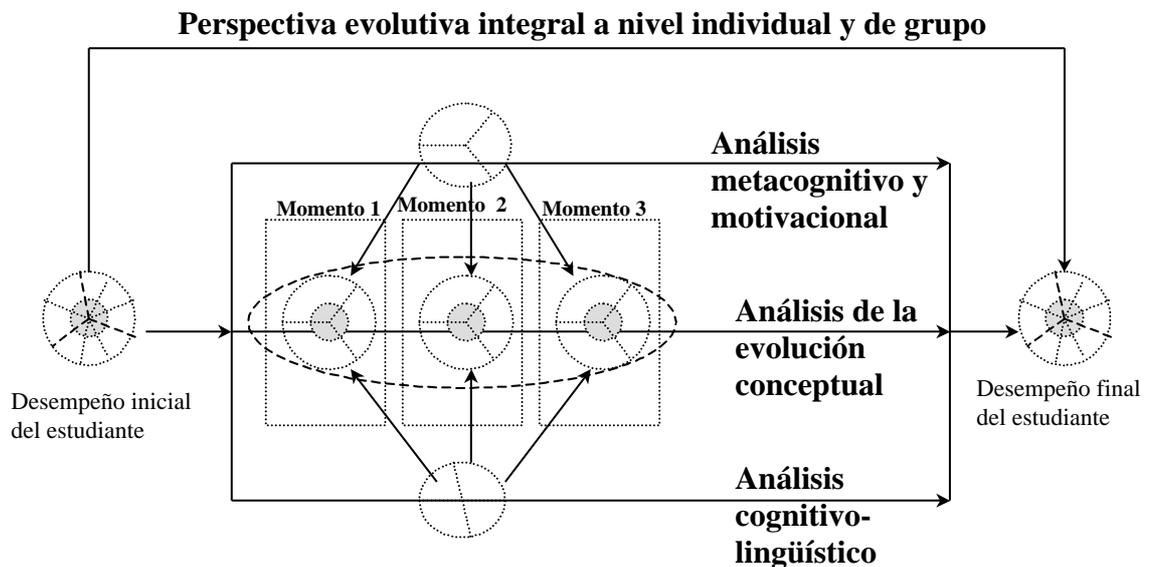


Figura 4.7: Integración de las categorías cognitivo-lingüística y metacognitiva-motivacional al estudio de la evolución conceptual

Mencionado análisis se realizó inicialmente a nivel individual, a manera de estudio de casos y, posteriormente, se hizo un análisis general para los 4 casos estudiados, con el propósito de encontrar principios generalizadores para el grupo. La lectura en sentido horizontal del modelo de análisis propuesto nos da una aproximación evolutiva de la categoría conceptual, tanto a nivel individual como del grupo en su totalidad. La lectura vertical de la gráfica nos permitirá realizar interpretaciones integrales de las tres categorías estudiadas para cada estudiante y para grupo completo.

4. 8. Recolección de la información.

Para la recolección de la información se diseñaron y validaron cuestionarios en los que se presentaba a los estudiantes una serie de preguntas abiertas, (ver anexo). La intencionalidad central de mencionadas preguntas era la de motivar la escritura frente

a las diferentes preguntas acerca de la respiración. El análisis de la información se realizó principalmente sobre los textos largos (5-15 líneas). Otros análisis tanto de orden lingüístico como conceptual (Tamayo, 1999), tuvieron en cuenta, además de los textos largos, las expresiones cortas elaboradas por los estudiantes (2-3 líneas).

La recolección de información específica para cada una de las categorías analizadas se realizó de manera diferente. Para la categoría evolución conceptual la recolección de la información se realizó por fases. En la fase 1, correspondiente al diagnóstico de las concepciones de los estudiantes se aplicó el cuestionario 1. En la fase 2 se aplicaron los cuestionarios 3, 4, 5, 7. En la fase 3 se aplicó el cuestionario 8.

Las preguntas realizadas para recoger la información sobre conceptos específicos se ubican teóricamente en los diferentes modelos (paradigmas) que explican la respiración. Las respuestas a estas preguntas se realizaron de manera espontánea, es decir, no se le pidió a los estudiantes que realizaran sus respuestas según uno u otro modelo explicativo de la respiración. Es aceptable pensar que si hubiéramos “forzado” las preguntas las respuestas posiblemente serían diferentes.

Para el estudio de las habilidades cognitivo-lingüísticas se empleó la información recolectada durante los dos cursos académicos. Para la (sub)categoría motivación se recogió información durante el segundo curso académico a partir de los cuales se establecieron los perfiles motivacionales (Bacas y Martín-Díaz, 1992), de los estudiantes. Para la (sub)categoría metacognición se recogió información durante el segundo curso académico mediante 4 cuestionarios, (ver anexos). Es de anotar que cuando se consideró necesario se cruzó la información de los diferentes conjuntos mencionados

4. 8. 1. Instrumentos utilizados para la recolección de la información.

En la tabla 4.2 presentamos los instrumentos empleados para la recolección de la información. Ubicamos las diferentes categorías para las cuales fueron usados así como el curso específico en el que se aplicaron. Los instrumentos utilizados para evaluar las categorías cognitivo-lingüística y metacognitivo-motivacional se aplicaron durante el estudio del tema “metabolismo”. El propósito central de estos cuestionario es el de generar un contexto multidimensional en el cual estudiar la evolución conceptual. Conviene aclarar que a partir de estos datos no se pretende estudiar estas categorías en forma evolutiva, (ver figura 4. 7).

Tabla 4. 2: Utilidad de los diferentes instrumentos para el análisis de la información y momento en el que fueron aplicados

Cuestionario	Curso		Categorías analizadas			
	1°	2°	Conceptual	Cognitivo-lingüística	Meta-cognición	Motivación
				Fase		
1	x		x	1, 3	x	
2		x				x
3		x	x	2	x	x
4		x	x	2	x	
4'		x				x
5		x	x	2	x	
5'		x				x
6'		x				x
7		x	x	2	x	
7'		x				x
8		x	x	3		

Para realizar el diagnóstico de las concepciones de los estudiantes se emplearon los cuestionarios 1 y 3, el propósito era conocer las concepciones sobre la respiración. El cuestionario 3 se aplicó durante el curso de segundo de bachillerato y se empleó para evaluar aspectos metacognitivos y conceptuales. Consta de 5 respuestas de estudiantes recogidas en el curso anterior, sobre el proceso de la respiración. Los estudiantes debían analizar las respuestas de sus compañeros y decir, para cada respuesta, si estaban de acuerdo o desacuerdo con ellas y explicarle al compañero sus opiniones.

Durante la intervención del profesor-investigador se aplicaron los cuestionarios 3, 4, 5 y 7; esta fase se correspondió con el estudio de la unidad “metabolismo”. La construcción de sentidos se inició con base en la comparación de los cuestionarios 1 y 8. En esta fase los estudiantes analizaban el conjunto de respuestas dadas por ellos en el curso anterior y, frente a ellas, debían especificar con que aspectos estaban de acuerdo o en desacuerdo y explicar sus razones. La comparación de las respuestas iniciales (primero de bachillerato) con las respuestas finales (segundo de bachillerato) permitió identificar los aspectos sobre los cuales se dio, o empieza a darse, algún tipo de evolución conceptual. El hecho de encontrar semejanzas y diferencias entre los tres *momentos* del análisis es básico para hacer referencia a posibles aspectos conceptuales profundos o superficiales de los estudiantes.

En su conjunto, los cuestionarios 1, 3, 4, 5, 7, y 8 (ver anexo 1 y 3), se emplearon para estudiar en detalle la evolución conceptual de los estudiantes. Permitieron además establecer diferentes formas de interacción de las concepciones de los estudiantes con los nuevos conceptos enseñados en clase. Es de anotar que los textos escritos por los estudiantes en los cuestionarios fueron empleados para realizar el análisis cognitivo-lingüístico. A continuación mostramos, a manera de ilustración, algunas de las preguntas realizadas durante la recolección de la información.

Algunas de las preguntas empleadas para el diagnóstico de las concepciones de los estudiantes

- 1.- Cuando estas realizando algún ejercicio (corriendo, jugando...) habrás notado que respiras más rápido que cuando estas en reposo. A que crees que se deba esta diferencia en la respiración ?
- 2.- A continuación te presentamos una serie de afirmaciones. Debes escribir:
CA si estas completamente de acuerdo. **CD** si estas completamente en desacuerdo. **A** si estas de acuerdo. **D** si estas en desacuerdo
Para cada una de las preguntas planteadas debes explicar tu respuesta.
 - No existe relación entre los procesos de respiración y de nutrición.
Por qué ?
 - La principal función de la respiración es tomar oxígeno y liberar gas carbónico.
Por qué ?
 - Al respirar, el oxígeno nos da la energía que necesitamos para nuestras funciones.
Por qué ?
 - La respiración de un animal que tiene pulmones es similar a la de un organismo sin pulmones.
Por qué ?
3. En una evaluación sobre respiración el profesor pidió a sus estudiantes que explicaran el proceso de la respiración. Posteriormente repartió las evaluaciones entre los estudiantes para que fueran corregidas por los mismos compañeros. Debes decir para cada respuesta si estas de acuerdo o desacuerdo y explicarle a tu compañero tus opiniones.

Laia contesto:

El árbol produce oxígeno el cual nosotros recogemos por la nariz o por la boca, baja por la tráquea hasta los pulmones que intercambian el aire (oxígeno) por el dióxido de carbono. El dióxido de carbono lo recuperan los árboles que lo transforman en oxígeno.

Estoy de acuerdo con:**No estoy de acuerdo con:****Carlos contesto:**

A través de la respiración nosotros cogemos el oxígeno, este oxígeno es transportado por la sangre y llega hasta las células. Las células utilizan este oxígeno para producir energía y también para producir dióxido de carbono y agua.

Estoy de acuerdo con:**No estoy de acuerdo con:**

Algunas de las preguntas empleadas durante la intervención del profesor-investigador

En un experimento que se realizó en el laboratorio para medir el consumo de oxígeno cuando un colibrí se encuentra en reposo y cuando esta volando, se llegó a la siguiente gráfica:

Al pedir a los estudiantes que explicaran las razones por las cuales había tanta diferencia en el consumo de oxígeno se encontraron las siguientes respuestas. Debes escoger con la que estés más de acuerdo y explicar por qué.

Aída contesto:

El colibrí consume tanto oxígeno porque lo necesita para enfriar su organismo ya que se calienta debido a tanta actividad. Al volar se aumenta la temperatura debido al movimiento de las alas y por esa razón debe consumir más oxígeno.

Estoy de acuerdo con:

Estoy en desacuerdo con:

Juan contesto:

El colibrí cuando esta volando esta gastando más oxígeno y a la vez esta gastando hidratos de carbono que ha tomado de las flores. El oxígeno se necesita para poder realizar la combustión en el interior del organismo del colibrí.

Estoy de acuerdo con:

Estoy en desacuerdo con:

Marta contesto:

Al volar el colibrí consume más oxígeno porque así se produce la energía que necesita para poder volar. Al respirar el oxígeno contenido en el aire se produce energía que es utilizada para muchas funciones.

Estoy de acuerdo con:

Estoy en desacuerdo con: