

**ALGUNAS PAUTAS Y CONSIDERACIONES PARA  
APRENDER DE UN TEXTO EDUCATIVO DE CIENCIAS**

*Joan Josep Solaz-Portolés y*

*Magdalena Moreno-Cabo*

*A Georgina, que sempre es troba al nostre cor*

## ÍNDICE

1. Introducción: el libro de texto en ciencias.....	4
2. Aprendizaje a partir de textos.....	7
2.1. Procesos cognitivos en la lectura.....	7
2.2. El modelo de Kinstch y van Dijk.....	8
2.3. La relación entre lectura y aprendizaje.....	11
3. Variables o características textuales que influyen en el aprendizaje.....	13
3.1. De contenido.....	15
3.2. De estructura organizativa.....	19
3.3. De cohesión.....	21
3.4. De estructura superficial.....	24
3.5. De otros aspectos.....	25
3.5.1. Actividades de aprendizaje.....	25
3.5.1.1. Cuestiones.....	25
3.5.1.2. Problemas de lápiz y papel.....	26
3.5.1.3. Trabajos prácticos.....	35
3.5.2. Ilustraciones.....	36
4. Variables relacionadas con el lector.....	44
4.1. Esquemas de conocimiento del lector.....	44
4.2. Estrategias del lector.....	47
5. A modo de conclusión: Aspectos de un texto educativo de ciencias que favorecen el aprendizaje.....	49
5.1. En la prosa expositiva.....	49
5.1.1. En el contenido.....	49
5.1.2. En la estructura organizativa.....	50
5.1.3. En la cohesión.....	50
5.1.4. En la estructura superficial.....	51
5.2. En las actividades de aprendizaje.....	51
5.3. En las ilustraciones.....	53
6. Nota final.....	55
7. Bibliografía.....	57

## 1. INTRODUCCIÓN: EL LIBRO DE TEXTO EN CIENCIAS

|

El libro de texto en ciencias desempeña un papel decisivo en la transmisión de conocimientos (Bachelard, 1965) y presenta, como cualquier otro discurso de información científica, unos rasgos semiológicos que lo diferencian de otros textos (Grize, 1991). El célebre filósofo e historiador de la ciencia T.S. Kuhn (1987a) defiende la tesis de que la enseñanza basada en el libro de texto permite la formación de científicos aptos para realizar *ciencia normal* y los adiestra como solucionadores de problemas. Este autor, en su libro *La estructura de las revoluciones científicas* llega a definir a los libros de texto como "vehículos pedagógicos para la perpetuación de la ciencia normal" (Kuhn, 1987a, p.214). En otro de sus trabajos, lo define como "la única fuente mediante la cual la mayoría de las personas entran en contacto con las ciencias físicas (...). Como atestiguan muchas autobiografías, incluso el investigador científico no siempre se halla libre de la imagen de libro de texto obtenida durante sus primeros contactos con la ciencia" (Kuhn, 1987b, p.204).

Parece bien probado, según señalan diferentes autores (Meyer et al, 1988; Otero, 1990 a, b; Renner et al. 1990; Santelices 1990; Wandersee, 1988; Wood y Wood, 1988), que el libro de texto sigue utilizándose en ciencias como un recurso didáctico básico en países y situaciones educativas distintas, permaneciendo como uno de los principales determinantes del currículum en ciencias (Dreyfus, 1992).

No nos debe ser extraño este uso tan extendido del libro de texto, si tomamos en consideración algunas de las importantes funciones que puede ejercer de apoyo al profesor en: la toma de decisiones curriculares, la planificación de estrategias de enseñanza, las explicaciones científicas y la promoción del cambio conceptual en los estudiantes (Ruth y Anderson, 1986).

Así pues, dado el papel central del texto educativo en la instrucción en ciencias, es comprensible el considerable aumento de estudios en los últimos años para la mejora de su diseño y contenido; si bien, a pesar de esta voluntad declarada no exista todavía un acuerdo tácito de cómo llevar a cabo esta mejora (Staver y Bay, 1989). Sin embargo, en lo que sí parece existir un gran consenso es en la pobre calidad instruccional de los textos actuales con fines pedagógicos (Britton et al, 1989). Una muestra de ello la tenemos en el trabajo realizado por Aguirre de Cárcer (1983) en el Estado Español y en el que determina los niveles de razonamiento en el sentido piagetiano de la exposición de los contenidos presentados en los libros de texto de Física y Química de educación secundaria, y donde comprueba que son superiores a los que los alumnos son capaces de utilizar. Idénticas conclusiones obtienen en los Estados Unidos Staver y Bay (1989) para los textos elementales de ciencias. Y en Brasil, Lopes (1990) encuentra que los libros didácticos de Química no cuestionan el conocimiento común y apenas transmiten estrategias científicas.

Además, los libros de texto de ciencias ofrecen una falsa impresión de la naturaleza de la ciencia: presentan un cuerpo de conocimiento elaborado de forma empírico-inductiva (Stinner, 1992), sin ningún error (Chiappetta et al., 1991), y acompañado de resolución de problemas de carácter algorítmico únicamente (Stinner, 1992). Es evidente, pues, que la concepción de la ciencia como empresa creativa no se fundamenta en los textos didácticos en el desarrollo histórico de los conceptos enmarcado en una adecuada epistemología (Brackenbridge, 1991).

Una muestra de la importancia que se le da al libro de texto en la enseñanza de las ciencias es que él mismo se ha convertido en objeto de estudio en el análisis de la introducción de conceptos científicos en el aula. Citaremos como ejemplos de lo dicho los trabajos realizados sobre la introducción de: la física moderna (Gil Pérez et al., 1986), el concepto de campo (Solbes y Martín, 1991), la óptica (Solbes y Zacarés, 1993), los modelos atómicos (Solbes et al., 1987; Solaz Portóles et al., 1993a), elemento químico (Bullejos et al.,

1993), el concepto de mol (Pozo León y Llorens Molina, 1993), el equilibrio químico (Escobedo et al., 1993), el desplazamiento del equilibrio químico (Solaz Portolés, 1993; Quílez et al., 1993) y el tratamiento termodinámico de la disolución de sólidos iónicos en agua (Solaz Portóles y Sanjosé López, 1993b).

De todo lo comentado hasta aquí respecto de los libros de texto, se desprende que éstos son necesarios, aunque no suficientes, para producir un apropiado aprendizaje de las ciencias a partir de su lectura. Por ello, el presente trabajo intenta sacar a la luz algunas pautas que permitan ayudar a los docentes en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias a partir de textos y en la elaboración de materiales textuales.

## **2. APRENDIZAJE A PARTIR DE TEXTOS**

Una de las formas en que se utiliza el texto educativo en ciencias es como fuente informativa mediante su lectura directa. Los estudios que centran su atención sobre este uso en el contexto educativo están basados en los resultados de la confluencia de dos áreas: la psicología cognitiva y la psicolingüística. Analizaremos a continuación los procesos cognitivos en la lectura, el modelo de Kinstch y van Dijk, y la relación entre lectura y aprendizaje.

### **2.1. PROCESOS COGNITIVOS EN LA LECTURA**

Just y Carpenter (1987) distinguen diversos procesos lectores que van asociados a los distintos niveles de representación del lenguaje: letras, palabras, frases, etc. Dichos procesos son:

a)Codificación de palabras: El lector codifica los constituyentes de una palabra secuencialmente, normalmente letra a letra.

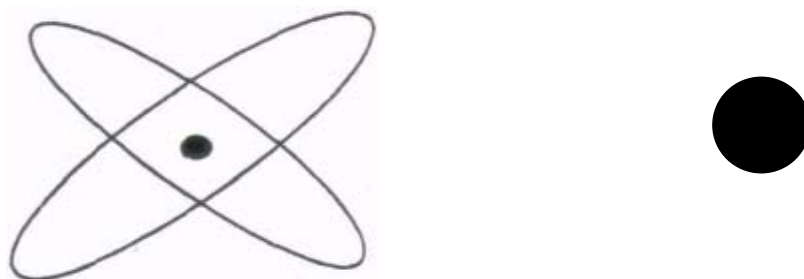
b)Acceso léxico: Se accede al significado de la palabra haciendo uso del "diccionario mental" de que cada persona dispone.

c)Análisis sintáctico y semántico: En el análisis sintáctico el lector integra una retahíla de palabras en estructuras más interrelacionadas. La organización sintáctica ayuda a mantener las palabras de una oración en la memoria de trabajo mientras el contenido semántico de ésta (significado) se está procesando.

En el análisis semántico se establecen relaciones conceptuales entre los elementos de una oración y se construye una representación mental de tales relaciones: el lector llena las casillas de sus esquemas de conocimiento de información semántica. Estas operaciones se efectúan rápidamente y sin esfuerzo, y constituyen un componente esencial de la comprensión textual (lo que informalmente se llama comprensión consiste básicamente de análisis semántico).

Los análisis sintáctico y semántico son muy cercanos y están muy ligados porque operan con las mismas unidades de información (primariamente, frases) y emplean los mismos tipos de información sobre cada palabra.

d)Representación referencial: A medida que el lector lee va construyendo una representación mental a partir de los objetos a los que se refiere el texto y de los esquemas de conocimiento del lector. Así, por ejemplo, una oración como "El átomo es una partícula", tiene una sola representación sintáctica y semántica, pero puede tener diferentes representaciones referenciales dependiendo del lector:



## 2.2. EL MODELO DE KINSTCH Y VAN DIJK

El modelo de Kinstch y van Dijk (1978), junto con las modificaciones ulteriores del mismo (van Dijk y Kintsch, 1983), centra su atención en la integración textual, en la *administración* de la información textual en la memoria de trabajo, y en los mecanismos que determinan el almacenamiento de la información en la memoria de largo plazo.

El modelo parte del nivel de análisis semántico del texto y asume que el lector construye una representación proposicional del contenido semántico textual. Las proposiciones constan de dos o más conceptos interrelacionados que forman una unidad de significado en un nivel abstracto que no está limitado ni por frases ni por palabras. En consecuencia, todo un conjunto de frases que difieran sintáctica o léxicamente pero que



contengan las mismas relaciones semánticas, tendrán la misma representación proposicional. La representación proposicional es un formalismo que el modelo utiliza tanto para representar el contenido semántico de un texto, como el contenido semántico del recuerdo de un texto por parte del lector.

Según el modelo solamente se procesan porciones limitadas de texto en razón de las limitaciones impuestas por la memoria de trabajo. El procesamiento se efectúa por ciclos, durante los cuales se toman un número limitado de proposiciones del texto y se intenta conectarlas con las que ya se tienen en la memoria de trabajo o en la memoria de largo plazo. Las conexiones entre proposiciones son realizadas merced al compartimiento de argumentos y/o conceptos entre ellas. Tras el procesamiento de este conjunto de proposiciones, una parte de las proposiciones recogidas en la memoria de trabajo se desvía hacia la memoria a largo plazo, donde con bastante probabilidad se almacenarán. Otra parte de las proposiciones en la memoria de trabajo es empleada para iniciar un nuevo ciclo de procesamiento de proposiciones. El resto de las proposiciones del conjunto se desplaza de la memoria de trabajo, esto es, se desechan.

El subconjunto de proposiciones que se mantiene en la memoria de trabajo para iniciar el siguiente ciclo de procesamiento contiene las que son más recientes e importantes para el lector. Las más importantes son las que mejor interconectadas están con otras partes leídas del texto.

Las predicciones del modelo apuntan que la probabilidad de recuerdo de una proposición depende del número de ciclos en los que ésta participa. Por tanto, se recordarán más las proposiciones más relacionadas y los textos que organicen los contenidos de tal modo que la nueva información esté siempre ligada con la anterior. Por otro lado, el modelo postula que, tras la lectura de un texto, se construyen dos representaciones mentales diferentes denominadas *base textual* y *modelo de situación*

La *base textual* se elabora a partir de las proposiciones del texto y expresa su contenido semántico tanto a nivel global como local. Esta representación refleja sobre todo las relaciones de coherencia entre las proposiciones, así como su organización.

Los autores llaman *modelo de situación* a la representación que, en términos de Just y Carpenter (1987), anteriormente habíamos denominado *representación referencial*. A saber, se trata de un constructo llevado a cabo mediante la integración del contenido textual en los esquemas de conocimiento del lector.

Destacaremos dos diferencias importantes entre ambas representaciones. La primera es que la *base textual* está muy influida por la coherencia global y local existente entre las proposiciones del texto, debido a su estrecha conexión con el contenido semántico; en cambio, el *modelo de situación* se ve influido principalmente por aquellos aspectos que permiten enlazar mejor los esquemas de conocimiento del sujeto lector con la información textual. La segunda es que la *base textual* se evalúa mediante tareas de recuerdo libre, en tanto que el *modelo de situación* se mide más efectivamente mediante tareas de aprendizaje que requieren estrategias cognitivas de alto nivel, como, por ejemplo, la resolución de problemas.

Naturalmente, ambas representaciones no son independientes. De hecho, "*la base textual es un paso necesario hacia el modelo de situación* (van Dijk y Kintsch, 1983, p. 343). Es decir, construir una adecuada *base textual* es una condición necesaria aunque no suficiente para la elaboración de un adecuado *modelo de situación*. Además, éste último está especialmente condicionado por una parte de la *base textual*, la denominada macroestructura. Esta afirmación nos lleva a considerar otra distinción del modelo: la existente entre la macro y la microestructura textual.

La microestructura textual está formada por las proposiciones que el lector forma durante la lectura buscando relaciones de coherencia entre las ideas expuestas en el texto.

La macroestructura resulta de las macroproposiciones que construye el lector sirviéndose de macroestrategias textuales, basadas predominantemente en el texto, y de macroestrategias contextuales, basadas sobre todo en el conocimiento previo del lector. Las macroproposiciones pueden estar completamente explícitas en el texto o bien pueden estar implícitas. En el primer caso, el lector únicamente debe seleccionarlas, mientras que en el segundo, debe producirlas.

### **2.3. LA RELACIÓN ENTRE LECTURA Y APRENDIZAJE**

Parece bastante evidente que la lectura y el aprendizaje de un texto deban tener en común los procesos por los cuales se llega a comprender un texto, a los que ya hemos hecho referencia en el apartado anterior. Sin embargo, un texto que ha sido comprendido no se retiene necesariamente en la memoria con el fin de ser recuperado ulteriormente. De ahí, que en el estudio y aprendizaje de un texto, se deban implicar una serie de estrategias de anclaje de la información que permitan su recuperabilidad. Tales estrategias no tienen por qué operar durante una lectura ordinaria.

Por sentido común, se puede pensar que leer y estudiar difieren primariamente en relación con la intencionalidad. Estudiar suele presuponer intención de aprender, cosa que no ocurre en la lectura ordinaria. A pesar de ello, estudios de memoria han encontrado que estudiantes que tenían intención de aprender durante la lectura no recordaban mucho más el texto que aquellos que no la tenían (Just y Carpenter, 1987).

Los objetivos que se pretenden con la lectura son fundamentales. Hay investigaciones que prueban cómo los objetivos conducen a un procesamiento diferente de los textos. Así Anderson y Armbruster (1982) comprueban que cuando se espera una prueba de ensayo (preguntas abiertas), el tipo de estudio es diferente que cuando se espera una prueba objetiva (elección de respuesta entre varias posibilidades). Wandersee (1988), haciendo uso de un cuestionario de preferencia de métodos de estudio con estudiantes universitarios, obtiene que la mayoría de ellos utiliza diferentes tipos de estrategia de estudio en función del tipo de prueba esperada y de la materia estudiada.

Así pues, el propósito con el que se aborda la lectura parece ser determinante en los procesos y actitudes ante la lectura de un texto, y la consideración de esta variable es de gran importancia en ciencias, ya que la lectura es un elemento funcional que sirve a múltiples propósitos de aprendizaje en diferentes situaciones educativas y con sujetos en distintos estadios evolutivos.

De todo lo que hemos expuesto hasta este momento respecto de la comprensión y aprendizaje de textos, es posible deducir que la cantidad de aprendizaje que se produzca en la lectura dependerá tanto de la naturaleza del texto (características o variables textuales), como del conocimiento previo y las estrategias del sujeto lector. Justamente de estas cuestiones nos ocuparemos seguidamente.

### **3. VARIABLES O CARACTERÍSTICAS TEXTUALES QUE INFLUYEN EN EL APRENDIZAJE.**

El interés en el estudio del texto educativo de ciencias desde el punto de vista psicológico-didáctico es muy reciente, prácticamente se puede situar su comienzo en la década de los 70. En las investigaciones efectuadas tomando como base dicho texto se han analizado, entre otras cosas, las siguientes:

- a) la estructura y organización del contenido (Dee-Lucas y Larkin, 1990; Golden et al., 1988; Mayer, 1985; Meyer et al., 1988; Rossi, 1990).
- b) su exigencia cognitiva (Aguirre de Cárcer, 1983; Staver y Bay, 1989).
- c) su legibilidad (Williams y Yore, 1985; Wood y Wood, 1988).
- d) su estilo expositivo (Strube, 1989a).
- e) las cuestiones insertadas (Leonard, 1984, 1987; Pedersen et al., 1988).
- f) su utilización para el cambio conceptual (Hynd y Alvermann, 1986; Roth y Anderson, 1986).
- g) los organizadores avanzados y el conocimiento de prerrequisitos (Healy, 1989).
- h) el lenguaje figurativo: analogías, símiles y metáforas (Gilbert, 1989).
- i) las variables metacognitivas (Otero, 1990; Otero y Campanario 1990).
- j) las estrategias de estudio de los alumnos (Ferguson-Hessler y de Jong, 1990; Wandersee, 1988).
- k) el papel del conocimiento previo o esquemas previos del lector (Otero, 1990; Santelices, 1990).

l)Ideas del profesorado sobre la lectura de libros de texto de ciencias (Yore, 1991).

m)las características de los ejercicios de laboratorio que se plantean en los libros de texto (Tamir et al, 1992).

No obstante, debemos también citar los estudios realizados sobre prosa expositiva, no necesariamente científica, que nos han servido de base para esta investigación. Así, Duffy y colaboradores (1989) fijan sus objetivos sobre la estructura y organización del contenido textual, Britton (1989) destaca la importancia de una buena señalización del texto (en tipos de letra, títulos, etc.) y de su simplicidad léxica y sintáctica, y Anderson y Ambruster (1984) proponen toda una estrategia que incluye la unidad, coherencia, y estructura textual, más las características del lector, para determinar la "consideración" de los textos didácticos con el potencial lector. Y Coromina (1992), que defiende la existencia de una serie de recursos (redundancia, léxico, sintaxis, etc.) que configuran un lenguaje eficaz, que no pobre, y que posibilitan la comunicación con un determinado grupo de individuos.

En todos estos trabajos mencionados aparecen distintas variables textuales que afectan a los procesos de comprensión en el aprendizaje de las ciencias. El primer problema que se nos presenta es el de la clasificación de todo ese cúmulo de variables.

El criterio más riguroso sería, sin duda, la clasificación a partir de los procesos cognitivos implicados en la comprensión, almacenamiento y recuperación del material escrito. Sin embargo, tal modelo parece aún lejano pese a los avances de la psicología cognitiva en ese terreno (García Madruga y Martín Cordero, 1987). Estos mismo autores organizan las variables textuales en dos grandes grupos: las que no modifican la estructura textual y las que sí lo hacen. Vidal-Abarca (1990), por su parte, agrupa las variables textuales según tres propiedades o características: cohesión, coherencia y estructura. Por nuestra parte, en un trabajo anterior (Sanjosé López et al., 1993) ya propusimos una clasificación de las variables textuales en cuatro aspectos: Contenido, Estructura Organizativa, Cohesión, Estructura Superficial y Otros Aspectos.

### 3.1. DE CONTENIDO

Los aspectos relativos al contenido hacen referencia a las proposiciones contenidas en el texto. Se trata de una dimensión textual que cobra vital importancia en los textos científicos, ya que la adquisición de conceptos no va a llenar un vacío de ignorancia sino a integrarse en un cuerpo organizado de ideas y concepciones previas. Por lo cual, se han de tener en cuenta en el contenido las preconcepciones de los alumnos (Carey, 1986; Driver, 1989; Driver et al., 1989; Hierrezuelo y Montero, 1989), y en la introducción de conceptos se debe enlazar siempre con el conocimiento previo del alumno (Anderson y Armbruster, 1984; Corral Iñigo et al., 1987; Driver, 1988; Otero, 1985; Roth y Anderson, 1986; Wandersee, 1989).

Por otra parte, como señalan diferentes autores, no es menos importante la redundancia en la presentación y desarrollo de ideas claves o problemáticas (Mayer, 1985; Merrill, 1983, 1987; Reigeluth y Stein, 1983; Reigeluth, 1987; Roth y Anderson, 1986), y las explicaciones que relacionan la información textual con el mundo real (Corral Iñigo et al., 1987; Roth y Anderson, 1986; Strube, 1989b). Ambas cosas se pueden conseguir simultáneamente a través de ejemplos convenientemente buscados (Coramina, 1992), que se ha comprobado que son potentes ayudas para comprender y recordar un texto (Just y Carpenter, 1987).

Hay evidencias empíricas de que el uso de lenguaje figurativo, analogías primordialmente, resulta positivo en los procesos de enseñanza/aprendizaje. Citemos los estudios que utilizan las analogías: para superar y modificar las concepciones alternativas sobre la conservación de la materia (Stavy, 1991), como ayuda para comprender y memorizar durante la lectura (Halpern, 1990), para facilitar la comprensión de fenómenos eléctricos (Dupin y Joshua, 1989 y 1990), como instrumento generado por los propios estudiantes en el desarrollo de explicaciones científicas (David Wong, 1993). Tampoco podemos dejar de citar las revisiones generales efectuadas por Duit (1991) y Simons (1984) sobre los beneficios de las analogías en la instrucción. De hecho, desde hace algún tiempo ya se venía defendiendo su inclusión en el discurso textual (Sari y Reigeluth, 1982; Reigeluth y

Stein, 1983; Reigeluth, 1987; Strube 1989a) porque es de gran utilidad al estudiante para construir esquemas en tópicos desconocidos (Bean et al., 1985), esto es, actúa como organizador avanzado de información promoviendo el aprendizaje y retención de conceptos del texto (Ausubel, 1976).

Sin embargo, se tienen que hacer dos puntualizaciones a este respecto: que se utilizará el lenguaje figurativo sólo si sus referentes son bien conocidos por el lector (pues solamente conceptos familiares pueden servir como referentes para dicho lenguaje si su finalidad es enseñar conceptos no familiares) (Anderson y Armbruster, 1984); y que su uso será selectivo, ya que puede provocar efectos no deseados, como por ejemplo, en la retención de conceptos y en la actitud de los alumnos (Gilbert, 1989).

Otra consideración de gran importancia en el contenido de los textos educativos en ciencias experimentales es la presentación que en ellos se hace de modelos y teorías. Desde el punto de vista epistemológico, hemos de tener en cuenta que las teorías científicas tratan de modelos ideales que se supone representan, de modo más o menos simbólico y con alguna aproximación, ciertos aspectos de los sistemas físicos, y jamás todos sus aspectos. Las teorías no "retratan" la realidad, sino que son construcciones realizadas con conceptos, hipótesis y relaciones lógicas esencialmente diferentes de sus correlatos (Bunge, 1981, 1985). En conclusión, los modelos son bocetos conceptuales de objetos cuya existencia se asume y que forman parte de, al menos, una teoría.

Desde el punto de vista pedagógico es importante destacar la perniciosa costumbre que se tiene en los libros de texto de ciencias de presentar modelos y teorías como datos brutos de la realidad (Corral Iñigo et al., 1987). Un análisis de los manuales franceses y escoceses revela interesantes detalles en este problema (Meheut et al., 1988). Así, en muchos de los manuales franceses los modelos son presentados como objetos reales, ocultando las reglas de correspondencia que fundamentan su validez y sus aspectos teóricos. Dicha presentación resulta a todas luces contradictoria con una iniciación a la metodología científica, y se aproxima más a la ideología y al dogmatismo. En un gran número de manuales escoceses se adopta un punto de vista empirista, y se espera que a partir de determinadas experiencias el alumno llegue a



construir por sí mismo un modelo. Es decir, en este caso se ocultan al alumno los aspectos teóricos de la observación y se le muestra ésta como punto de partida del conocimiento científico (Hodson, 1988).

En la misma línea, podemos referirnos aquí a ciertos trabajos que han puesto el acento en las deficiencias histórico-epistemológicas que muestran los textos para la enseñanza de las ciencias fisicoquímicas: Strube (1989b) efectúa un análisis de argumentos y explicaciones presentados en textos de Física General y Química General (preuniversitarios y universitarios) ingleses y australianos, y señala la ausencia de pasajes que discutan la función de teorías, leyes y modelos en los procesos de indagación científica; Chiappetta y colaboradores (1991) examinan el contenido de textos de Química de High School, y obtienen que presentan un cuerpo de conocimientos elaborados sin ningún tipo de error, es decir, ofrecen una visión acumulativa de la ciencia, y no prestan importancia alguna al desarrollo histórico de los conceptos; Solaz-Portolés y colaboradores (1993a) analizan en textos de Física y Química de educación secundaria la introducción de los modelos atómicos, y encuentran que los autores de éstos no están preocupados ni por dar a conocer los aspectos epistemológicos de la formulación de modelos científicos, ni por justificar la sustitución de un modelo por otro atendiendo a las dificultades que uno presentó y el otro obvió; el canadiense Stinner (1992) y el norteamericano Brackenbridge (1991) coinciden en afirmar que la imagen de la ciencia que los libros de texto proporcionan es distorsionada, y fruto del vacío histórico y filosófico que muestran sus páginas.

En estas condiciones, es fácil entender las ideas erróneas de los estudiantes acerca del papel que modelos y teorías desempeñan en la ciencia y su desarrollo (Gilbert, 1991; Lederman, 1992), y los fracasos que éstos tienen para unir los modelos a las situaciones reales del laboratorio o de la vida fuera del centro educativo, pues no llegan a hacerlos funcionar como construcciones hipotéticas y heurísticas, sino como dogmas definitivos y cerrados (Martinand, 1983), que se limitan a copiar físicamente la realidad (Grosslight et al., 1991).

Como corolario de todo lo dicho, parece aconsejable en el contexto educativo, por una parte, distinguir claramente entre lo que es un modelo científico y lo que es una observación; y por otra, proporcionar las explicaciones oportunas sobre el concepto de modelo científico (Anderson, 1990; Llorens, 1988; Renström et al., 1990).

Para acabar este apartado, nos ocuparemos de una característica frecuente de la ciencia de los textos escolares, que es la de limitarse a "enunciados declarativos" sin referirse a problemas concretos y sin mostrar su carácter predictivo o sus límites de validez (Astolfi, 1988), además de soslayar casi por completo el contexto de indagación que condujo a la formulación de conceptos, leyes y teorías (Stinner, 1989). Esto mismo se ve confirmado por el análisis de textos de ciencias físicas efectuado por Strube (1989b), que revela que la mayoría de los textos contienen un alto índice de explicaciones no justificadas (*unjustified statements*) que son utilizadas para informar al lector de resultados, y un bajo índice de explicaciones indagativas (*inquiry statements*), donde el autor describe las dificultades conceptuales y experimentales que acompañaron el desarrollo de los conceptos científicos.

### 3.2. DE ESTRUCTURA ORGANIZATIVA

Dado que los macroprocesos lectores procuran una representación global del contenido del texto, es lógico que cuanto mayor sea la organización del texto más fácilmente se lleven a cabo dichos macroprocesos. Existen varios resultados de investigación que avalan esta conclusión (Brooks y Dansereau, 1983; Danner, 1976; Golden et al., 1988; Kintsch y Yarbrough, 1982), de los cuales comentaremos a continuación dos que se refieren a textos científicos.

Brooks y Dansereau (1983) presentaron a sujetos universitarios un texto científico en dos versiones, bien y mal organizado. A todos los sujetos se les pidió que realizaran dos tareas: una de recuerdo libre tras estudiar el texto, y otra de recuerdo guiado de detalles y de ideas principales. Los autores encontraron que en tarea de recuerdo libre: a) el recuerdo de ideas principales fue afectado significativamente por el grado de organización pero no por el entrenamiento previo de los estudiantes, no encontrándose efecto alguno de interacción, b) el recuerdo de detalles no fue afectado ni por el grado de organización ni por el entrenamiento previo, no encontrándose tampoco efecto alguno de interacción. Por lo que respecta a la tarea de recuerdo guiado: a) el recuerdo de ideas principales se vio afectado por el entrenamiento previo, pero no por el grado de organización, b) un efecto similar se obtuvo para el recuerdo de detalles. Como se puede apreciar, este estudio confirma que la buena organización del texto afecta a los macroprocesos (recuerdo de ideas principales) pero no a los microprocesos (recuerdo de detalles).

Golden y colaboradores (1988) investigaron la influencia de la organización textual o superestructura y el contenido semántico o macroestructura sobre los resúmenes de un artículo científico efectuados por alumnos. De sus resultados se desprende que los textos bien organizados estructuralmente y semánticamente claros ayudan más al alumno, que hace mejores resúmenes y más parecidos estructuralmente al texto original.

Como punto de partida para la organización de los textos se ha de procurar que dicha organización favorezca la activación de los esquemas de conocimiento necesarios para la recepción del nuevo material, ya que esto es crucial para la recuperación de la memoria del material significativo de cara a la comprensión. En este sentido, podemos citar el trabajo de Dee-Lucas y Larkin (1990), en el que se indican los beneficios de aquellos tipos de organización textual que subrayan los principios conceptuales situándolos al comienzo de los textos y/o párrafos, frente a otros tipos de organización que resaltan las reglas formales y los hechos. También destacan los trabajos de Sari y Reigeluth (1982), Reigeluth y Stein, (1983) y Reigeluth, (1987), en los que se plantea una secuencia organizativa que se inicia con las ideas más simples, las mejor conocidas o familiares para el alumno para después elaborar cada una de ellas, y volver al final de la secuencia a sintetizar las ideas con un mayor grado de precisión, complejidad y abstracción.

También es necesario que en la estructura organizativa del texto haya una presentación adecuada de los tópicos que en él se tratan. Así, se ha observado la gran importancia de situar el tema o tópico del discurso al comienzo del texto (Kieras, 1978), y se recomienda darlos a conocer mediante títulos encabezamientos o frases (Anderson y Armbruster, 1984). Todas estas observaciones son acordes con las teorías de la comprensión que ponen énfasis en el papel de la información supraordinada como guía en el procesamiento del texto (Kintsch y van Dijk, 1978; van Dijk y Kintsch, 1983).

Un aspecto de la estructura organizativa que pese a ser de público conocimiento, no por ello suele ser menos descuidado, es el de utilizar párrafos distintos para unidades de información diferente (Mayer, 1985). Ello aumenta la coherencia del discurso y demanda menos esfuerzo cognitivo por parte del alumno en este nivel de procesamiento (Craik y Lockhart, 1972).

Por último, mencionaremos el trabajo de Anderson y Botticelli (1990) en el que se propone una metodología de análisis cuantitativo de la organización del contenido de los textos de ciencias. En esta investigación se destaca la urgencia de mejorar los niveles de organización textual y la yuxtaposición de las ideas de que dispone el lector con las nuevas que se introducen en el texto, si se quieren hacer más efectivos los textos para la instrucción en ciencias.

### 3.3. DE COHESIÓN

Puesto que ya conocemos algunos de los procedimientos para mejorar la organización general de un texto, hemos de plantearnos la necesidad de que el lector procese el texto en un nivel adecuado para poder beneficiarse de dicha organización. Esto es, el discurso textual tiene que poseer una cohesión, intra e interproposicional tal, que permita una descripción coherente del contenido semántico (Kintsch y van Dijk, 1978; van Dijk y Kintsch, 1983). Así pues, la dimensión de cohesión hace referencia al conjunto de procedimientos que mantienen la conexión conceptual entre las diversas ideas que se encuentran en las frases y párrafos (Mayer, 1985).

Para mejorar la cohesión intraproposicional o microestructural se recomienda especialmente reducir la complejidad léxica y sintáctica (Britton et al., 1989; Santelices, 1990; Williams y Yore, 1985), de este modo los aprendices recodifican sin dificultad las unidades de información a nivel microestructural y no sobrecargan la memoria (García Madruga y Martín Cordero, 1987).

La variable complejidad léxica se puede reducir empleando vocabulario científico-técnico sólo cuando sea estrictamente necesario por formar parte intrínseca del contenido y, en este caso, proveeremos al sujeto lector de definiciones claras (Anderson y Armbruster, 1984). Otro problema del vocabulario en la enseñanza de las ciencias es el de la polisemia de los términos. En este sentido, se ha descubierto que existe una gran influencia de las acepciones de la vida cotidiana de dichos términos en las dificultades de los alumnos en la comprensión y asimilación de conceptos de la Física y de la Química (Gabriela et al., 1990; Logan y Logan, 1993; Llorens et al., 1989). En opinión de Lahore Alberto (1993) dichas dificultades no son únicamente de índole semántica, sino un problema de percepción y estructuración de la realidad, debido a la influencia del lenguaje en el pensamiento.

Se ha comprobado que una de las características del lenguaje de los libros de texto de ciencias es su proximidad al utilizado por la literatura científica, donde aparecen oraciones estructuralmente complejas, con gran cantidad de palabras que el lector debe de inferir, y de formas verbales en pasiva (Santelices, 1990; Strube 1989a). Uno de los modos en que podemos paliar esta complejidad sintáctica es mediante la disminución del tamaño de la frase, que suele tener dos efectos: una mayor integración de ideas por su menor número, y evitar construcciones sintácticas menos usuales y más complejas como es el caso de la voz pasiva (Britton et al., 1982).

Como podemos intuir, la cohesión textual no queda solucionada concibiendo el texto como un simple conjunto de oraciones sintácticamente sencillas que exponen los contenidos en una secuencia más o menos lógica. Se ha de proporcionar una buena red informativa de manera que el aprendiz pueda establecer las oportunas interrelaciones entre conceptos (Duffy et al., 1989; Staver y Bay, 1989). Es aquí, en consecuencia, donde desempeña un papel crucial la cohesión interproposicional o macroestructural, y vamos a señalar a continuación algunas técnicas para perfeccionarla:

1. Establecer explícitamente las relaciones entre ideas, a saber, el sujeto lector tiene que poder construir redes semánticas con un mínimo de inferencias textuales. El uso de frases cortas y simples puede impedir la formación de estas redes (Anderson y Armbruster, 1984), por tanto, se debe de llegar a una situación de compromiso en el tamaño de frase tal que no impida la cohesión microestructural, pero que a su vez, favorezca la macroestructural.

2. Evitar las ideas irrelevantes para el contenido tratado. Cada idea presentada ha de contribuir a la integración de las proposiciones en la red semántica iniciada (Anderson y Armbruster, 1984; Duffy et al., 1989). Se ha comprobado, que adicionando detalles de bajo nivel se reduce el recuerdo de las ideas principales porque se distrae la atención del lector de la estructura central (Meyer, 1984).

3. Facilitar la unión entre los referentes y los referidos (o antecedentes) en el texto (Bernárdez, 1982). A título de ejemplo, vamos un caso de desunión referente/referido:

*"La energía se utiliza para producir calor y electricidad. Por medio de ella funcionan las calefacciones, las máquinas y los motores."*

Existe un referente, el pronombre "ella", que hace alusión a un referido citado con anterioridad, "la energía". Sin embargo, se puede apreciar cómo, en este caso, podría haber confusión entre "energía" y "electricidad". Es decir, el texto hubiera tenido poca cohesión debido a la ambigüedad de la unión referente/referido. En cualquier caso, para que la unión referente/referido sea adecuada, se ha de evitar cualquier tipo de ambigüedad, así como que haya una gran distancia entre ambos, ya que en este caso se dificulta la comprensión tal y como predice el modelo de comprensión de Kintsch y van Dijk (1978), debido a los procesos adicionales de búsqueda de información en la memoria a largo plazo que el lector tiene que realizar. Estos procedimientos de cohesión textual son particularmente importantes cuando los lectores son niños o adolescentes, a causa de su dificultad para inferir los contenidos y las relaciones ausentes (Anderson y Armbruster, 1986).

4. Aumentar la conectividad entre frases. Esto se puede hacer mediante conjunciones, expresiones conjuntivas u otras expresiones (Anderson y Armbruster, 1986; Mayer, 1985). Por ejemplo:

*"Como ya hemos estudiado, las leyes de la Mecánica Clásica permiten conocer la velocidad y la posición de cualquier cuerpo macroscópico. Sin embargo, ello no es posible si nos estamos refiriendo al mundo microscópico, como es el electrón en el átomo".*

5. Utilizar partículas que permitan al lector dirigir su atención y le faciliten las inferencias a efectuar en la lectura (Corral Iñigo et al., 1987). Así, en el ejemplo anterior, la conectiva adversativa "Sin embargo", cumple ambas funciones.

Una posible explicación del papel de la cohesión textual en la comprensión de textos, sería que la cohesión del discurso textual permite la elaboración de una representación altamente integrada o interconectada en la memoria y, por ende, una recuperación más eficiente.

### 3.4. DE ESTRUCTURA SUPERFICIAL

Bajo este epígrafe incluimos un conjunto de procedimientos que no alteran la estructura del texto al que van dirigidos, y que sirven de estímulo o indicio para un procesamiento del texto por parte del lector que le conduzca a su macroestructura. Recogemos seguidamente algunos de los procedimientos más convenientes para la didáctica de las ciencias:

1. Destacar las ideas principales contenidas en el texto (Duffy et al, 1989; Meyer, 1984; Rossi, 1990).

2. Emplear frases introductorias que anuncien el contenido del texto (preview statements), así como frases resumen (Britton et al., 1982).

3. Utilizar títulos y encabezamientos que suministren más información estructural y que estén colocados adecuadamente, de este modo se prepara al lector para adentrarse de un modo rápido en la idea principal (Anderson y Armbruster, 1984; García Madruga y Martín Cordero, 1987; Corral Iñigo et al., 1987).

4. Ajustar el estilo lingüístico del texto al estudiante. Normalmente el estilo de los textos escolares de ciencias es el derivado del modelo *correcto* de escribir literatura científica: rígido, ausente de vividez y de lenguaje figurativo; y que pone el acento en exceso en las argumentaciones lógicas, las definiciones y el razonamiento formal (Strube, 1989a).



### **3.5. DE OTROS ASPECTOS**

Vamos a englobar aquí todo el conjunto de variables textuales que no forman parte *sensu stricto* de la prosa expositiva científica, y que no obstante, constituyen una parte muy importante de los textos instruccionales de ciencias, sin la cual sería imposible el aprendizaje en ciencias. A saber: las actividades de aprendizaje (cuestiones , problemas y trabajos prácticos) y las ilustraciones.

#### **3.5.1. ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE (CUESTIONES, PROBLEMAS Y TRABAJOS PRÁCTICOS)**

En cuanto al papel de las actividades de aprendizaje parece no haber ninguna duda acerca de su influjo positivo en la comprensión y retención del texto y, como señalan diferentes estudios, éste se debe a la focalización de la atención del aprendiz hacia determinadas partes del texto (García Madruga y Martín Cordero, 1987).

##### **3.5.1.1. CUESTIONES**

Leonard (1984,1987) en sus trabajos sobre el efecto de las cuestiones insertadas en textos de ciencias, recoge abundante bibliografía que confirma la mayor productividad de las cuestiones cuando están colocadas después de los pasajes a los que se refieren, y la mayor eficacia de las cuestiones de alto nivel cognitivo (de comprensión, de inferencia y de aplicación) frente a las factuales. Este último resultado, junto con el obtenido por Pedersen y colaboradores (1988) que indica que los estudiantes que justifican las respuestas de las cuestiones recuerdan significativamente más el contenido textual, constatan el hecho de que cuantas más operaciones cognitivas se requieren al lector tanta más información recuerda posteriormente.

Por otro lado, las cuestiones son la clave de la utilización del texto instruccional como herramienta para el cambio conceptual cuando cumplen los siguientes requisitos: están centradas en las ideas principales, revelan errores conceptuales, promueven la unión entre las ideas del texto y la vida real, sirven para poner en tela de juicio los preconceptos, y dan muchas oportunidades de trabajar sobre un concepto (Roth y Anderson, 1986).

### **3.5.1.2. PROBLEMAS DE LÁPIZ Y PAPEL**

La resolución de problemas en el aula es una actividad mediante la cual el estudiante externaliza el proceso constructivo de aprender, convierte en acciones los conceptos, las proposiciones o los ejemplos, a través, fundamentalmente, de las interacciones con el profesor y los materiales instruccionales (Costa & Moreira, 2001). En este trabajo, identificamos como problemas las situaciones problemáticas de papel y lápiz que se encuentran en los libros de texto.

La resolución de problemas desempeña un papel crucial en el currículo de ciencias (Lorenzo, 2005). De hecho, la destreza para resolver problemas es uno de los objetivos más importantes de la educación en ciencias, y la resolución de problemas una de las estrategias más utilizadas por los profesores de ciencias, tanto durante la instrucción, como en la evaluación. Desgraciadamente, suele ser también fuente de dificultades y de desmotivación para los alumnos (Friege & Lind, 2006). Además, la actitud de los alumnos ante la resolución de problemas no puede obviarse, y frecuentemente no es la más apropiada para dirigirse hacia una solución exitosa (Escudero, 1995). Por consiguiente, no es de extrañar que mejorar las habilidades de los estudiantes en la resolución de problemas continúe siendo un objetivo principal de los profesores e investigadores en la didáctica de las ciencias.

Está muy extendida en las aulas de ciencias la práctica de utilizar problemas numéricos en los que el alumno manipula ecuaciones, efectúa cálculos numéricos o literales, sustituye valores y repite conocimientos memorizados. En opinión de Zoller y colaboradores (1995) esta metodología instruccional pone en evidencia una enseñanza orientada hacia habilidades de bajo nivel cognitivo. En los libros de texto hallamos con excesiva profusión una buena muestra de este tipo de problemas de carácter *algorítmico*, que únicamente implican la aplicación de fórmulas o reglas (Stinner, 1992).

En relación con esto, Hellman (1988) encontró en sus exámenes de Física que tenía bastantes casos de alumnos con capacidad para contestar preguntas *no conceptuales* -aquellas que requerían sólo la sustitución de valores en fórmulas- que, sin embargo, daban un bajo rendimiento en las preguntas *conceptuales* -aquellas que exigen seleccionar y aplicar conceptos, principios o leyes sin utilizar ecuaciones ni realizar cálculos. También Mazur (1996) revela que sus estudiantes de Física, en la mayoría de los casos, memorizaban ecuaciones y algoritmos de resolución de problemas pero no comprendían realmente los conceptos subyacentes. Finalmente, un amplio número de trabajos muestran que el éxito en la resolución de problemas algorítmicos de Química no indica dominio de los conceptos relacionados con ellos (Nurrenbern y Pickering, 1987; Sawrey, 1990; Pickering, 1990; Nakhleh, 1993; Nakhleh y Mitchell, 1993; Gabel y Bunce, 1994).

La literatura sugiere que el éxito en la resolución de problemas depende de la combinación de un potente conocimiento de la materia, conocimiento de las estrategias de resolución de problemas, y de componentes actitudinales (Jonassen, 2000).

Palumbo (1990), destaca que la resolución de problemas se apoya en estructuras profundas de conocimiento y en la experiencia. Garofalo y Lester (1985) indican que la resolución de problemas constituye una destreza de alto nivel que incluye procesos de visualización, asociación, abstracción, comprensión, manipulación, razonamiento, síntesis y generalización, que requieren ser dirigidos y coordinados. Recientemente Solaz-Portolés y Sanjosé (2007a) han llevado a cabo una revisión de la investigaciones realizadas en torno a las variables cognitivas que intervienen en la resolución de problemas y cómo éstas influyen en el desempeño.

El conocimiento necesario para resolver problemas consta de conceptos, principios, ejemplos, detalles técnicos, generalizaciones, heurística y otras piezas de información relevante (Stevens & Palacio-Cayetano, 2003). El desarrollo de una base de conocimiento es importante tanto en extensión como en organización estructural. Además, para que dicha base de conocimiento sea útil para los estudiantes ha de ser fácil de acceder y de aplicar. Pero, naturalmente, en primer lugar tiene que existir, haber sido construida. Resulta ingenuo pensar que el conocimiento pueda ser obtenido o generado de otras fuentes, que no sea la propia estructura cognitiva, cuando se necesita para resolver problemas (Dawson, 1993).

Muchos autores han estudiado y clasificado los tipos de conocimiento que la educación científica y la resolución de problemas exigen. Shavelson, Ruiz-Primo y Wiley (2005) presentan un esquema de los distintos tipos de conocimiento requerido para que los estudiantes logren los objetivos que se plantean en la enseñanza de las ciencias. Este esquema incluye el conocimiento declarativo (saber qué, referido al contenido específico: hechos, definiciones y descripciones), conocimiento procedimental (saber cómo, producción y aplicación de reglas, pasos a seguir, etc.), conocimiento esquemático (saber por qué, principios, esquemas conceptuales, relaciones entre conceptos), y conocimiento estratégico (saber cuándo, dónde y cómo aplicar nuestros conocimientos, estrategias, heurística, etc).

Por su parte Ferguson-Hessler y de Jong (1990) han distinguido cuatro tipos principales de conocimiento, con la finalidad de conseguir una adecuada base de conocimiento a partir de la cual poder resolver problemas:

- Conocimiento situacional, que permite reconocer situaciones que aparecen dentro de una disciplina específica. Con él, los estudiantes pueden extraer la información relevante del enunciado de un problema.
- Conocimiento declarativo o conceptual. Se trata de un conocimiento estático sobre hechos y principios que pueden ser aplicados dentro de una determinada disciplina.
- Conocimiento procedimental. Tipo de conocimiento que contiene acciones o manipulaciones que son válidas dentro de una disciplina. Este conocimiento se halla *extendido* a lo largo del conocimiento declarativo, dentro de la memoria de los estudiantes.
- Conocimiento estratégico, que ayuda al estudiante a organizar los procesos que se efectúan durante la resolución del problema, y le guía en los pasos a seguir para alcanzar la solución.

En la tarea de resolver problemas en concreto, Friege y Lind (2006) resaltan el conocimiento esquemático de problemas como factor clave del éxito. Para estos autores este conocimiento es de alta calidad y resulta de la combinación del conocimiento situacional, procedimental y conceptual; y está caracterizado por la profundidad e interconexión de todos ellos. Este es, precisamente, el hallazgo principal de los estudios basados en la comparación de *expertos* y *novatos*: parece que el desempeño en la resolución de problemas por parte de los expertos se apoya en la organización que éstos tienen de sus esquemas. Es decir, los esquemas de resolución que los expertos mantienen en sus memorias son muy amplios y densos (interconectados) lo que requiere también que sean muy coherentes (no contengan contradicciones), mientras que los esquemas de los novatos son parcelados, locales, específicos para cada enunciado o situación, poco densos y, cuando se les solicita vincular entre sí dos o más esquemas parciales, aparecen frecuentes problemas de coherencia interna (Zajchowski & Martín, 1993).

De Jong y Ferguson-Hessler (1986) encontraron que los estudiantes que resolvían peor los problemas tenían su conocimiento organizado de una manera superficial, mientras que aquellos que los resolvían mejor tenían su conocimiento organizado en esquemas de problema, conteniendo cada esquema el conocimiento declarativo, procedimental y situacional preciso para cada problema.

En un experimento posterior (Ferguson-Hessler & De Jong, 1990), comprobaron que los estudiantes que solucionaban bien los problemas aplicaban en el estudio de la materia un procesamiento de la información más profundo que los otros. Además, éstos últimos prestaban más atención al conocimiento declarativo, a diferencia de los estudiantes exitosos, que centraban su atención en los conocimientos procedimental y situacional.

Se ha encontrado que el conocimiento conceptual o declarativo es un excelente predictor del desempeño en la resolución de problemas (Friege & Lind, 2006; Solaz-Portolés & Sanjosé, 2006). Este hallazgo apoya la teoría de Ausubel (Ausubel, Novak & Hanesian, 1978), según la cual, si los estudiantes son capaces de incorporar nuevo conocimiento dentro de una estructura de conocimiento ya existente, entonces debería esperarse una correlación entre el conocimiento conceptual tras la instrucción y el éxito en las tareas de aprendizaje (como la resolución de problemas) (Pendley, Bretz & Novak, 1994).

Johnstone y El-Banna (1986) han propuesto un modelo de resolución de problemas basado en la teoría de la memoria de trabajo y en el M-espacio de la teoría de Pascual-Leone. Este modelo establece que un estudiante tendrá éxito en la resolución de un problema si su demanda mental (M-demanda o Z-demanda, los autores aproximan el valor de Z al número de pasos efectuado en la resolución por el alumno menos talentoso, pero exitoso en dicha resolución) es menor o igual a la capacidad de la memoria de trabajo del estudiante, X (esto es,  $Z \leq X$ ). La bondad del modelo ha sido puesta a prueba en los trabajos de Tsaparlis (1998) y Tsaparlis y Angelopoulos (2000).

Solaz-Portolés y Sanjosé (2008a) recogen un conjunto de investigaciones que muestran que los resultados de los estudiantes en la resolución de problemas dependen de: su nivel de razonamiento formal (mayor nivel de razonamiento, mejores resultados), su capacidad mental (M-espacio) (mayor capacidad, mejores resultados), si son dependientes o independientes de campo (independientes de campo, mejores resultados), y de su estilo cognitivo móvil/fijo (los móviles lo hacen mejor en pruebas creativas, los fijos en pruebas de mayor razonamiento formal).

De acuerdo con Mayer (1992) los procesos de resolución de problemas pueden agruparse en dos pasos, representación del problema o modelo mental y solución del mismo. Para construir una representación mental del problema, el aprendiz sigue dos etapas: *traducción* del problema e *integración*. En la primera, el estudiante extrae conceptos de la descripción textual del problema mediante su conocimiento lingüístico y semántico. Los estudios de Lee y colaboradores (Lee, 1985; Lee, Goh, Chia, & Chin, 1996) ponen en evidencia que el éxito en la resolución de problemas depende enormemente de una adecuada traducción del enunciado del problema, y del adecuado encaje de dicho enunciado en la base de conocimientos del estudiante.

Como se pone de relieve en un trabajo reciente (Solaz-Portolés & Sanjosé, 2008b) la capacidad de la memoria de trabajo desempeña un papel crucial en la resolución de problemas. La habilidad para mantener la información en un estado de activación elevado y controlado puede resultar decisivo para la integración de la información en los sucesivos pasos de la resolución, incluyendo la construcción y manipulación de modelos mentales. No debe resultar raro, pues, que se encuentre un buen número de dificultades en los procesos cognitivos de resolución de problemas en las que está implicada la capacidad de la memoria de trabajo. Los resultados de los experimentos sobre la asociación entre la capacidad de la memoria de trabajo y la carga de información en la resolución de problemas, efectuados por Opdenacker, Fierens, Brabant, Sevenants, Slootamekers, et al.(1990), Gathercole (2004), Danili y Reid (2004) y Tsaparlis (2005) apoyan la relación positiva existente entre capacidad de memoria de trabajo y éxito en la resolución de problemas de ciencias.

Para alcanzar resolver problemas el estudiante tiene que, entre otras cosas, aprender a transferir aprendizajes. La transferencia es frecuentemente definida como la habilidad para aplicar lo que ha sido aprendido en un determinado contexto a un nuevo contexto (Byrnes, 1996).

De acuerdo con Rebello, Cui, Zollman y Ozimek (2007), se pueden distinguir dos tipos de transferencia, horizontal y vertical. La primera tiene lugar si se produce una conexión entre la información que proporciona el enunciado del problema y la que dispone el estudiante en su estructura cognitiva. Un ejemplo de esta transferencia podría ser el caso de un estudiante de Física cuando resuelve con soltura un problema de los que suelen aparecer en los libros de texto. Son problemas cerrados, con datos explícitos, de metodología de resolución familiar, y que suelen ser predominantemente algorítmicos. En estos casos, la estructura del problema propuesto y de los ejemplos antes resueltos es idéntica y el estudiante sólo debe ser capaz de construir una correspondencia analógica entre los elementos del enunciado nuevo y los de los problemas ejemplo, ya generalizados y abstraídos en el esquema de resolución.

La transferencia vertical se realiza en el caso que el aprendiz reconozca características específicas de la situación planteada que le permiten activar algunos elementos de su estructura cognitiva, pero no dispone de una estructura de conocimiento específica que conecte con toda la información del problema. Por tanto, debe elaborar modelos mentales *in situ* que le permitan abordar el problema. La mayoría de problemas reales requieren transferencia vertical. Suelen ser problemas abiertos, con datos incompletos y de metodología de resolución desconocida a priori para el estudiante.

Fijémonos ahora en las ayudas instruccionales que pueden mejorar la transferencia en la resolución de problemas. Los resultados de los trabajos pioneros de Gick y Holyoak (1983) y de Catrambone y Holyoak (1989) sacan a la luz que puede conseguirse transferencia entre problemas desemejantes mediante entrenamiento con ejemplos y manipulaciones que promuevan la abstracción del esquema de problema (esto es, en definitiva, promover el conocimiento esquemático de problemas).

En el proceso de abstracción de esquemas de resolución de problemas, la eficacia de comparar ejemplos de estructura idéntica o muy similar ha sido probada como un buen método para facilitar la transferencia analógica (Loewenstein, Thompson, Gentner, 1999): la instrucción previa mediante problemas apropiados (Goldstone & Sakamoto, 2003) y la comparación de estos problemas fuente entre sí, es el método instruccional clásico.



Bernardo (2001) obtiene en sus experimentos que el uso de tareas de aprendizaje específicas para estimular la transferencia analógica, mejora de manera significativa la transferencia analógica de información entre el problema fuente y el problema diana. El autor utilizó una estrategia para las tareas de aprendizaje que consistió fundamentalmente en permitir a los estudiantes construir sus propios problemas análogos. Warnakulasooriya y Pritchard (2005) muestran que la transferencia entre problemas de física mejora significativamente cuando los problemas contienen ayudas en la forma consejos, textos descriptivos y retroalimentación.

De acuerdo con Flavell (1976, p.232) *“Metacognición se refiere al conocimiento personal relativo a los propios procesos cognitivos y a todo lo demás relacionado con ellos, por ejemplo, propiedades de información o de datos que son relevantes para el aprendizaje”*. Desde la perspectiva cognitiva de Anderson (1980) los componentes del conocimiento necesario para resolver problemas pueden ser agrupados en factual o declarativo, procedimental, y regulatorio o metacognitivo. Todos ellos desempeñan papeles complementarios. De acuerdo con O’Neil y Schacter (1999) para ser un buen solucionador de problemas, se tiene que tener conocimiento conceptual, estrategias de resolución de problemas, y ser capaz de planear y controlar el progreso personal que conduce a la resolución del problema (metacognición). Un artículo de Mayer (1998) examina la función de las habilidades cognitivas, metacognitivas y motivacionales en la resolución de problemas. Acaba concluyendo que las tres son estrictamente indispensables.

Artz y Armour-Thomas (1992) plantean la relevancia de los procesos metacognitivos durante la resolución de problemas en pequeños grupos. Acaban concluyendo que las interacciones continuas entre las destrezas cognitivas y metacognitivas resultan transcendentales en la consecución de la resolución de problemas.

Teong (2003) pone a prueba el efecto del entrenamiento metacognitivo sobre la resolución de problemas. Los estudiantes del grupo experimental, entrenados para llevar a cabo decisiones de carácter metacognitivo y exponerlas, superaron al grupo de control en las puntuaciones de la prueba de resolución de problemas. En los experimentos de Longo, Anderson y Witch (2002) se contrasta la eficacia de una nueva metodología instruccional que utiliza estrategias de aprendizaje metacognitivas de carácter visual. Los estudiantes que hicieron uso de estas estrategias obtuvieron resultados significativamente mejores en la resolución de problemas.

Otra metodología instruccional de gran efectividad es la presentada por Lorenzo (2005), denominada Heurístico de Resolución de Problemas. Esta metodología intenta ayudar a los estudiantes a comprender los pasos implicados en la resolución de problemas (herramienta metacognitiva), así como proporcionarles un enfoque organizativo para abordar los problemas de un modo sistemático. Este enfoque guía hacia un razonamiento cualitativo antes que de realización rápida de cálculos, usando siempre una *estrategia hacia atrás* reflexiva de los pasos efectuados (herramienta metacognitiva). Su aplicación al aula requiere, entre otras cosas, la resolución de problemas en un ambiente de cooperación.

Con la finalidad de conseguir una visión general de las características de estrategias de enseñanza innovadoras en la resolución de problemas, Taconis, Fergusson-Hessler y Broekkamp (2001) realizaron un análisis de los artículos publicados entre 1985 y 1995 en las revistas internacionales más prestigiosas del mundo. De este análisis se deduce que suministrar a los aprendices guías y criterios para poder juzgar sus procesos y productos durante la resolución de problemas, con una inmediata retroalimentación, parecen ser los prerrequisitos más importantes para adquirir habilidades adecuadas en resolución de problemas.

### 3.5.1.3. TRABAJOS PRÁCTICOS

La mayoría de profesores considera que los trabajos prácticos son de importancia vital en el currículum de las asignaturas científicas. Sin embargo, Gil y Payá (1988) muestran en un estudio que los trabajos prácticos habituales no familiarizan a los alumnos con la metodología científica, sino que suelen dar una visión simplista y empírico-inductivista del trabajo científico.

En los trabajos prácticos se suelen seguir guiones o modelos, también llamados “*recetas*” (Martínez y Parrilla, 1994), en donde el alumno se limita a una reproducción de un fenómeno bajo condiciones controladas. Como apunta Manjares (2000), esta orientación que se le da al trabajo práctico indica que es común entre los profesores separar la práctica de la teoría. Así, se constata que aunque normalmente los trabajos prácticos son considerados como un indicador de calidad y de motivación, no contribuyen necesariamente a un aprendizaje eficaz (Sanmartín, Márquez y García Rovira, 2003).

Payá (1991), concluye en su tesis doctoral que los trabajos prácticos, tal y como son orientados por los profesores y libros de texto, no contribuyen al aprendizaje significativo de la ciencia. Propone este autor que las características más importantes a tener en consideración en relación con los trabajos prácticos (T.P.) son:

- Plantear los T.P. cuando surja su necesidad dentro de un contexto de aprendizaje de conocimientos.
- Dar oportunidad a los alumnos de desarrollar capacidades asociadas al razonamiento hipotético-deductivo (emisión de hipótesis, control de variables, etc.) y de proponer sus propios diseños experimentales.
- Se tiene que efectuar siempre el análisis de los resultados obtenidos.
- Comparar los resultados obtenidos por diferentes grupos de alumnos que hayan realizado el mismo T.P.
- Mencionar nuevas líneas de investigación o nuevos problemas que podrían surgir después de haber llevado a cabo el T.P.
- Pedir una memoria del T.P. realizado.

Solaz Portolés (1990) ofrece un trabajo práctico con el péndulo simple, que se convierte en una pequeña investigación de un grupo de alumnos, donde se recogen muchos de los puntos planteados anteriormente. Esto es, convierte un trabajo práctico en una ocasión inmejorable de aplicar la metodología científica.

### **3.5.2. ILUSTRACIONES**

Otra variable que es necesario considerar en los textos educativos de ciencias son las ilustraciones, sobre todo en niveles elementales donde el aprendizaje de conceptos depende de la visualización de objetos y modelos icónicos (Storey Vasu y Howe, 1989). Por tanto, parece inexcusable la presencia de ilustraciones en los textos, si bien, no siempre mejoran la comprensibilidad de los mismos (Reynolds, 1987).

Los diagramas científicos constituyen un tipo particular de ilustración que pretende mostrar relaciones entre conceptos antes que identificar entidades particulares, esto es, su objetivo no es el de reproducir fielmente la realidad (Lovve, 1986). Estos diagramas se caracterizan por contener información codificada de manera altamente económica, para lo cual se utilizan técnicas tales como la omisión de ciertas partes o la transformación de las mismas en forma de secciones transversales, secciones longitudinales, rotaciones, vistas de pájaro, etc. Todas estas técnicas que, al fin y al cabo, lo que hacen es posibilitar la representación en dos dimensiones e incrementar la utilidad funcional de los diagramas científicos, conforman un conjunto de convenciones de significado de dichos diagramas (Lowe. 1988). Por otro lado, los diagramas se pueden clasificar por su propósito: describir, resumir o explicar y por su naturaleza: realista, semisimbólica o simbólica (Wheeler y Hill, 1990).

En cuanto a la potencialidad de los diagramas en la construcción del pensamiento científico, la historia de la ciencia pone en muchos casos de manifiesto la importancia que los diagramas han tenido como instrumento de apoyo en la generación de los conceptos científicos (McDonald-Ross, 1979). Siguiendo las opiniones de Lowe (1988), los científicos emplean los diagramas como vehículos de comunicación y como instrumentos para pensar sobre ideas científicas y generar hipótesis plausibles. Justamente, esta última función de instrumento de pensamiento de los diagramas es la que más nos interesa resaltar aquí, ya que sugiere que el desarrollo de destrezas en la elaboración e interpretación de diagramas debería ser un importante objetivo en la enseñanza de las ciencias.

Según revela el estudio de White y Tisher (1986), las ilustraciones menos efectivas en el aprendizaje de las ciencias son aquellas que más se acercan al mundo real. Esta circunstancia se explica por la experiencia acumulada por los estudiantes con las ilustraciones, que les induce a creer que la finalidad de las ilustraciones más realistas no es la de aprender con ellas nuevas cosas. Esto justifica por completo que los diagramas sean la forma de ilustración más ampliamente utilizada en la didáctica de las ciencias (Lowe, 1986).

En relación con el papel que desempeñan las ilustraciones en los textos educativos, Levin y colaboradores (Levin, Anglin y Carney, 1987) han señalado que:

1. Hacen más atractivo el texto.
2. Visualizan eventos particulares, personas, lugares, etc.
3. Ayudan a recordar la información importante.
4. Organizan la información de manera coherente.
5. Favorecen la comprensión del texto.

Es fácilmente constatable que el diseño y desarrollo del currículum en ciencias sigue basándose en la premisa de que el lenguaje es la forma principal de representación del conocimiento. Para persuadirnos de ello, es suficiente con tomar en consideración la extraordinaria importancia que se le concede a las respuestas verbales escritas en la evaluación de los alumnos. Por consiguiente, la posibilidad de que las imágenes mentales puedan ser un medio adicional o alternativo de representación cognitiva se tiene poco en cuenta por la gran mayoría de los docentes.

Sin embargo, Paivio (1971) defiende la denominada hipótesis de la codificación dual, según la cual la información puede ser codificada en la memoria tanto de forma verbal como no verbal. Así, este psicólogo explica que las palabras concretas ( como por ejemplo caballo, botella o agua) se recuerdan mejor que las palabras abstractas (como por ejemplo deducción, justicia o teoría), porque las primeras pueden codificarse de dos maneras: como imágenes y como conceptos. Esto comporta que la recuperación de la información almacenada en la memoria siguiendo una doble codificación sea más fácil que cuando sólo se codifica por una sola vía.

Mayer (1989, Mayer y Gallini, 1990)) señala los beneficios que en los textos científicos tienen los diagramas bien explicados e interconectados con una prosa apropiada. Estos beneficios, los justifica el autor por la ayuda que los diagramas prestan en la focalización de la atención del lector sobre la información más relevante y en la construcción de conexiones entre conceptos. Todo ello permite al lector organizar la información que proporciona el texto de una manera coherente y elaborar un modelo mental (modelo de situación) de los contenidos presentados, que le facilitará abordar con éxito tareas de aprendizaje tales como la resolución de problemas.

Es bien cierto que los libros de texto de ciencias han incrementado el uso de las ilustraciones en general y de los diagramas en particular. De lo que se puede deducir que cada vez está más extendida la idea entre el profesorado de que los diagramas son un potente instrumento para comunicar ideas a los estudiantes con efectividad. Por otra parte, se debe haber asumido también que una gran parte del aprendizaje de los conceptos científicos depende de la visualización de modelos y objetos, y que consecuentemente se ha de promover su uso en la enseñanza de las ciencias (Storey-Vasu y Howe, 1989).

Un último aspecto positivo de los diagramas en un contexto educativo proviene de su utilidad como instrumento para pensar sobre ideas científicas, lo que sugiere que su uso puede servir para asentar los conceptos científicos que más cuestan de asimilar (Lowe, 1988). Ello es completamente acorde con los resultados obtenidos por Kauchak y colaboradores (Kauchak, Eggen y Kirk, 1978), que evidencian que la efectividad didáctica del material gráfico en ciencias se incrementa cuando se hacen preguntas sobre el mismo.

No obstante, un examen riguroso de la comprensión e interpretación de los diagramas por parte de los estudiantes pone en evidencia que los diagramas pueden conducir a dificultades en el aprendizaje de las ciencias, e incluso pueden llegar a producir errores conceptuales. Andersson (1990), resalta en su trabajo la abundancia de diagramas en los libros de texto de Física y Química suecos que ayudan a reforzar las concepciones alternativas de los estudiantes de continuidad de la materia y de imposibilidad de espacio vacío.

Nosotros hemos encontrado diagramas de las mismas características en los libros de texto del Estado Español. En concreto, la Figura 1, que muestra moléculas e iones inmersos en un continuo de materia (agua líquida), y la Figura 2, que presenta a los elementos intervinientes en una reacción como bloques compactos de materia, son ejemplos de diagramas que promueven concepciones continuistas de la materia.

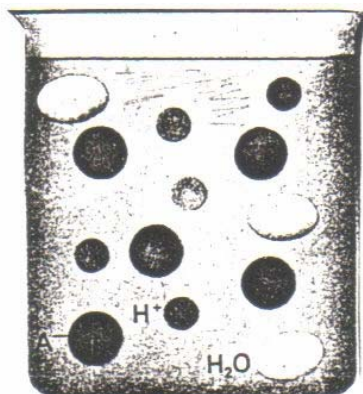


FIGURA 1. Moléculas de agua e iones procedentes de la ionización del ácido HA en disolución acuosa.

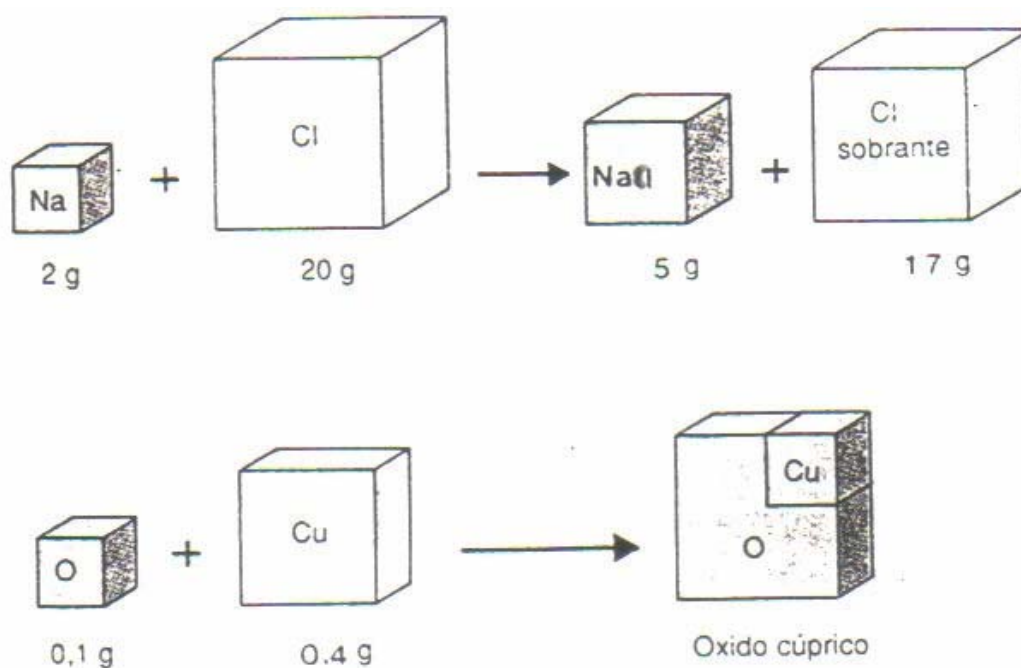


FIGURA 2. Combinación de elementos para producir compuestos.



La Figura 3 ofrece una representación de átomos, o mejor dicho de un modelo atómico, en la que no se da la imagen del átomo como partícula esencialmente vacía, sino todo lo contrario.



FIGURA 3. Representación de los átomos de helio y neón según el modelo atómico Rutherford.

Hemos de tener presente que los procesos que se desarrollan durante la lectura de un diagrama son complejos y requieren tanto del conocimiento del significado de los elementos que forman parte del mismo, como del conocimiento de la naturaleza de las relaciones entre los mismos. Así, Wheeler y Hill (1990) constatan que la interpretación de diagramas tridimensionales (diagramas de empaquetamiento iónico, secciones transversales y longitudinales, isómeros estructurales, vectores, etc.) conlleva muchos problemas a los estudiantes.

Por consiguiente, no es de extrañar que tanto Wheeler y Hill (1990) como Lowe (1986) pongan el acento en que el conjunto de convenciones que se utilizan en la elaboración de los diagramas al objeto de incrementar su utilidad funcional, tienen que ser perfectamente conocidos por los estudiantes si se pretende que sean útiles en el aprendizaje. De no ser así, se corre el riesgo de que, por ejemplo, determinadas exageraciones de características o de relaciones que entran dentro de dichas convenciones puedan convertirse en reproducciones de la realidad para nuestros alumnos.

La Figura 4, en la que se *pesa* un átomo de carbono 12 con 12 unidades de masa atómica, es un ejemplo de diagramas que se pueden encontrar en los libros de texto y que son potencialmente peligrosos para la comprensión y aprendizaje de las ciencias.

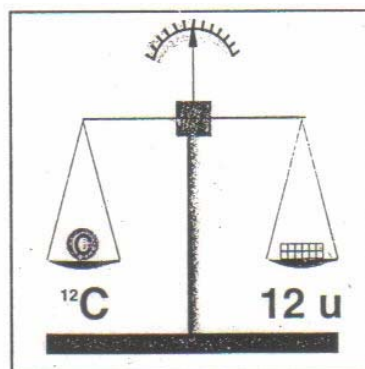


FIGURA 4. Equivalencia de masas de un átomo de Carbono 12 y doce unidades de masa atómica.

Con todo, siempre se ha de tener en cuenta que la interpretación de una ilustración está íntimamente ligada al conocimiento previo del que la ve. En este sentido, Hanson (1985, p. 95), refiriéndose a una ilustración de un tubo de rayos X, afirma: "El físico y el profano ven la misma cosa pero no infieren la misma cosa a partir de lo que ven".

Otra consideración de gran importancia de los diagramas científicos en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias tiene el origen en los modelos científicos. Ciertas investigaciones han corroborado que los estudiantes tienen ideas erróneas acerca del papel que modelos y teorías desempeñan en la ciencia y su desarrollo (Lederman, 1992), y piensan que los modelos se limitan a copiar físicamente la realidad (Grosslight et al, 1991), ya que no los han empleado en el aula como construcciones hipotéticas y heurísticas, sino como dogmas definitivos y cerrados (Martinand, 1983). Como corolario de lo dicho, parece aconsejable proporcionar a los estudiantes las explicaciones oportunas para diferenciar modelo científico -boceto conceptual de objetos cuya existencia se asume y que forman parte de al menos una teoría-, diagrama de un modelo científico -construcción física utilizada para representar un modelo científico-, y observación de la realidad física.

Es evidente que las actividades de aprendizaje y las ilustraciones no son en absoluto independientes de la prosa de un texto educativo de ciencias, como tampoco lo es la cohesión de la estructura organizativa o de la estructura superficial del texto. En conclusión, los aspectos o características mencionados del texto, son separables conceptualmente pero son mutuamente interdependientes en la comprensión del discurso textual. Asimismo, sería equivocado un planteamiento en el que todas las variables textuales se pudieran considerar independientemente de las que afectan al lector, de las cuales seguidamente nos ocupamos.

## **4. VARIABLES RELACIONADAS CON EL LECTOR**

### **4.1. ESQUEMAS DE CONOCIMIENTO LECTOR**

Como es bien sabido, las investigaciones en didáctica de las ciencias han revelado la barrera que supone el conocimiento previo del alumno, sus preconcepciones, en el proceso de conceptualización científica (Carey, 1986; Driver et al., 1989; Hierrezuelo y Montero, 1989). De hecho, la gran influencia de las ideas previas del sujeto en el aprendizaje ya había sido señalada por Ausubel (1976; Ausubel et al., 1983) en su teoría del aprendizaje significativo, y diversos estudios en el ámbito de la psicología cognitiva habían tomado en consideración el conocimiento previo del aprendiz para la formulación de la teoría de los esquemas como estructuras donde se almacena el conocimiento (Rumelhart, 1980).

El interés para nosotros radica en la participación de los esquemas en la comprensión lectora. Ya hemos visto que el significado se forma como consecuencia de la interacción entre las estructuras de conocimiento preexistentes en el sujeto y la información que suministra el texto, de manera que se forma un nuevo esquema o se modifica el preexistente.

En didáctica de las ciencias en relación con el conocimiento previo del lector se suele utilizar el término estructura cognitiva para la representación del conocimiento en forma de relaciones entre elementos de la memoria (White y Tisher, 1986). Esto es, se trata de un sistema formal de conceptos y proposiciones instalado en la memoria a largo plazo de los individuos (Novak, 1988a y 1991).

En el trabajo de revisión bibliográfica de White y Tisher (1986) se citan diferentes formas, a las que se han denominado genéricamente mapas de estructura cognitiva o mapas cognitivos, por las que se ha intentado determinar la estructura cognitiva de los sujetos: desde las técnicas simples de asociación de palabras hasta las de tipo preposicional.

Probablemente la técnica con la finalidad de acceso al conocimiento que más eco ha tenido ha sido la de los mapas conceptuales, que en opinión de sus mentores (Novak y Gowin, 1988) son herramientas insustituibles en el diagnóstico del aprendizaje significativo; es decir, aquél en el que los nuevos conceptos y proposiciones se asimilan en estructuras cognitivas ya existentes, cosa que no ocurre en el aprendizaje memorístico. No obstante, la concepción jerárquica de los mapas conceptuales que imponen sus valedores ha sido criticada recientemente por Galagovski (1993) desde los presupuestos del modelo cognitivo del aprendizaje del lenguaje de Chomsky. Galagovski propone como alternativa a los mapas conceptuales las redes conceptuales, a las que considera como análogos semánticos de la estructura cognitiva y de los modelos neurónicos.

Son diversos los investigadores que defienden que la cantidad de conceptos y estructuras preposicionales en la memoria a largo plazo del individuo constituyen un factor limitante para abordar óptimamente la resolución de problemas y los nuevos aprendizajes (Dawson 1993; Entwistle y Ramsden 1983; Kempa 1991; Neto 1991 y Novak 1988a). Nos detendremos, por su interés, en los trabajos de Kempa (Kempa y Nicholls, 1983; Kempa 1986), en los que se comparan los mapas cognitivos de asociación de palabras de estudiantes de Química con sus resultados en la resolución de problemas. En ellos, se concluye que los buenos solucionadores de problemas hacen mapas cognitivos con más asociaciones entre conceptos y menos errores. Según este mismo autor (Kempa, 1991) las dificultades para resolver problemas y su relación con la estructura cognitiva de los estudiantes, son atribuibles a la ausencia de elementos (conceptos) y/o de relaciones entre ellos en la estructura cognitiva, y a la presencia de irrelevantes o falsos elementos (conceptos) y/o relaciones entre ellos.

Dada la importancia de la estructura cognitiva del aprendiz en tareas de aprendizaje de alto nivel cognitivo, como la resolución de problemas, resulta lógico que la formación del *modelo de situación* sea tan dependiente del conocimiento previo del lector, tal y como señala el modelo de Kintsch y van Dijk.

Si, por otro lado, tomamos en consideración la distinción que efectúa la teoría de la asimilación (Ausubel et al., 1983; Novak, 1988a y 1991) entre aprendizaje significativo y memorístico como sustentos del puente por el que se construye el conocimiento, es plausible establecer un cierto paralelismo entre éstos y la elaboración de la *base de texto* y *modelo de situación*, que nos ayudará a entender mejor el papel que desempeña el conocimiento previo del lector en ambas representaciones. Este paralelismo se fundamenta en que:

1.El aprendizaje significativo supone que los contenidos a aprender se asimilan en estructuras cognitivas ya existentes mediante nuevos conceptos y relaciones, lo cual conduce, como hemos visto, a una mejora en el rendimiento de resolución de problemas.

2.El *modelo de situación* es un constructo resultado de la integración del contenido textual en los esquemas de conocimiento del lector, y se evalúa mediante resolución de problemas.

3.El aprendizaje memorístico comporta la no incorporación de los contenidos a las estructuras cognitivas ya existentes.

4.La *base de texto* se construye a partir del contenido textual y de sus relaciones de coherencia, y se evalúa mediante pruebas de recuerdo libre.

Los problemas en torno a la utilización de esquemas conocimiento en el aprendizaje de prosa expositiva científica han sido analizados por Otero (1990), diferenciando dos tipos:

a) de comprensión, en el caso de que el que aprende ciencias no disponga de esquemas adecuados para comprender la información presentada e intente, o bien procesar el contenido "al nivel de las proposiciones individuales", o bien activar esquemas inadecuados.

b) de metacompreensión: cuando el sujeto sea consciente de que no puede organizar adecuadamente las proposiciones de un texto, por carecer de esquemas idóneos, y cuando el sujeto utilice un esquema que no admite en sus "casillas" la información que se desprende del texto pero no es consciente del desajuste y cree que comprende bien.

## 4.2. ESTRATEGIAS DEL LECTOR

Las estrategias que los sujetos emplean en tareas de lectura son el segundo aspecto de las variables referidas al sujeto lector que intervienen en el aprendizaje. Como señalan Just y Carpenter (1987), el principal ingrediente de un aprendizaje exitoso es el desarrollo de estrategias de estudio que organicen la nueva información y la conecten con lo que ya sabe el lector. Según estos mismos autores, hay obvias diferencias entre las estrategias de estudio y la comprensión de lectura: las estrategias de estudio son más conscientes y explícitas, y además requieren más tiempo que la simple lectura comprensiva.

Para van Dijk y Kintsch (1983), una estrategia es "una representación cognitiva que pertenece a una secuencia compleja de acciones y que está ligada a la noción de plan (...). Un plan es una macroinformación que decide las posibles acciones contenidas en una acción global, y una estrategia es la macroinformación que determina la elección en cada momento de la alternativa más efectiva o racional".

Cualquier actividad de comprensión supone procesos de control por parte de los sujetos lectores. La importancia de los problemas de control de la comprensión cuando se leen textos de ciencias ha sido puesta de manifiesto por Otero y Campanario (1990). En el trabajo de este autor se estudia en qué medida la comprensión es controlada por estudiantes de ciencias de secundaria mediante: a) la detección de inconsistencias en textos manipulados (evaluación), y b) la identificación de las estrategias empleadas para regularla comprensión por parte de los estudiantes que detectaron dichas inconsistencias(regulación). La conclusión es que las dificultades que los estudiantes de ciencias tienen en el control de su propia comprensión pueden ser tan importantes como las dificultades en la propia comprensión y que, aunque las estrategias de control mejoran con la edad deberían promoverse con programas de instrucción específicos.

Se ha comprobado que en la lectura de textos de física los alumnos que son buenos solucionadores de problemas ejecutan más actividades de construcción macroestructural que los malos, que se limitan a un procesamiento superficial del texto (Ferguson-Hessler y de Jong, 1990). Además, los primeros prestan más atención al conocimiento procedimental, mientras los segundos prestan más atención al conocimiento declarativo. Por otra parte, Hegarty-Hazel y Prosser (1991) han constatado que las mejores estrategias de aprendizaje en estudiantes de Física se dan entre aquellos que tienen mejor conocimiento previo sobre el tema.



## **5. A MODO DE CONCLUSIÓN: ASPECTOS DE UN TEXTO EDUCATIVO DE CIENCIAS QUE FAVORECEN EL APRENDIZAJE.**

### **5.1. EN LA PROSA EXPOSITIVA**

#### **5.1.1. EN EL CONTENIDO**

- Tener en cuenta en el contenido las preconcepciones de los alumnos.
- En la introducción de conceptos se debe enlazar siempre con el conocimiento previo del alumno.
- Ser redundante en la presentación y desarrollo de ideas claves o problemáticas.
- Dar explicaciones que relacionen la información textual con el mundo real.
- Ofrecer ejemplos convenientemente buscados ( este aspecto puede servir para aplicar los dos puntos anteriores).
- Utilizar lenguaje figurativo, analogías primordialmente. Se ha de tener presente que el lenguaje figurativo sólo es útil si sus referentes son bien conocidos por el lector ( pues solamente conceptos familiares pueden servir como referentes para dicho lenguaje si su finalidad es enseñar conceptos no familiares).
- Especificar que las teorías no "retratan" la realidad, sino que son construcciones realizadas con conceptos, hipótesis y relaciones lógicas esencialmente diferentes de sus correlatos.
- Subrayar que los modelos científicos son bocetos conceptuales de objetos cuya existencia se asume y que forman parte de, al menos, una teoría.

- Describir las dificultades conceptuales y experimentales que acompañaron el desarrollo de los conceptos científicos.

### **5.1.2. EN LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA**

- La organización de los contenidos tiene que favorecer la activación de los esquemas de conocimiento necesarios para la recepción de la nueva información.
- Los principios conceptuales se han de situar al comienzo de los textos y/o párrafos.
- Emplear una secuencia organizativa de los contenidos que se inicie con las ideas más simples, las mejor conocidas o familiares para el alumno para después elaborar cada una de ellas, y volver al final de la secuencia a sintetizar las ideas con un mayor grado de precisión, complejidad y abstracción.
- Situar el tema o tópico del discurso textual al comienzo del texto y darlo a conocer mediante títulos encabezamientos o frases.
- Utilizar párrafos distintos para unidades de información diferente.

### **5.1.3. EN LA COHESIÓN**

- Reducir la complejidad léxica y sintáctica. La variable complejidad léxica se puede reducir empleando vocabulario científico-técnico sólo cuando sea estrictamente necesario por formar parte intrínseca del contenido y, en este caso, proveeremos al sujeto lector de definiciones claras. Uno de los modos en que podemos paliar la complejidad sintáctica es mediante la disminución del tamaño de la frase.
- Establecer explícitamente las relaciones entre ideas.

- Evitar las ideas irrelevantes para el contenido tratado.
- Facilitar la unión entre los referentes y los referidos (o antecedentes).
- Aumentar la conectividad entre frases.
- Utilizar partículas que permitan al lector dirigir su atención y le faciliten las inferencias a efectuar en la lectura.

#### **5.1.4. EN LA ESTRUCTURA SUPERFICIAL**

- Destacar las ideas principales contenidas en el texto.
- Emplear frases introductorias que anuncien el contenido del texto así como frases resumen.
- Usar títulos y encabezamientos que suministren más información estructural y colocarlos adecuadamente
- Ajustar el estilo lingüístico del texto al estudiante.

#### **5.2. EN LAS ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE (CUESTIONES, PROBLEMAS Y TRABAJOS PRÁCTICOS)**

- Disponer las actividades de aprendizaje después de los pasajes que contienen la información a la que se refieren. Son más eficaces en el aprendizaje las actividades de alto nivel cognitivo (de comprensión, de inferencia y de aplicación) que las factuales.
- Exigir la justificación de las respuestas dadas a las actividades de aprendizaje.

- Las actividades de aprendizaje más productivas para el cambio conceptual son aquellas que: están centradas en las ideas principales, revelan errores conceptuales, promueven la unión entre las ideas del texto y la vida real, sirven para poner en tela de juicio los preconceptos, y dan muchas oportunidades de trabajar sobre un concepto.
- Evitar la profusión de problemas algorítmicos en los que el alumno se limita a manipular ecuaciones, efectuar cálculos numéricos o literales, sustituir valores, aplicar reglas y repetir conocimientos memorizados.
- Plantear problemas y cuestiones conceptuales, esto es, aquellas que exigen seleccionar y aplicar conceptos, principios o leyes sin utilizar ecuaciones ni realizar cálculos.
- Incluir actividades en las que se estimulen los procesos de estudio en profundidad del texto (explicaciones, relaciones y confrontación de los contenidos) para poder extraer los conocimientos procedimental y situacional.
- Usar materiales concretos, por ejemplo, modelos, fotografías, dibujos, diagramas, etc., para hacer los conceptos abstractos más accesibles a los estudiantes con baja habilidad en las operaciones formales
- Proponer discusiones cualitativas en torno al enunciado de los problemas, que pueden efectuarse mientras los estudiantes resuelven el problema.
- Proveer a los estudiantes de diversas, continuas y prolongadas experiencias de resolución de problemas.
- Podemos facilitar el éxito de los estudiantes en la resolución de problemas mediante la reducción de la cantidad de información a procesar, a saber, los enunciados pueden ser redactados de forma que no sobrecarguen la memoria de trabajo.

- Plantear problemas abiertos (sin datos numéricos, sin metodología prefijada) y suministrar anotaciones con ejemplos trabajados.
- Usar representaciones externas mediante símbolos y objetos para ilustrar la base de conocimiento y su estructura durante la resolución de problemas.
- Ofrecer actividades de carácter metacognitivo. Tales actividades deben tratar, entre otros aspectos, de la existencia de diferentes tipos de conocimiento (declarativo, procedimental, situacional, etc.), de la importancia del conocimiento esquemático de problemas, del uso de heurísticos en la resolución de problemas y de la explicación del papel de las estrategias/habilidades metacognitivas en los distintos pasos o procesos de resolución de problemas.
- Proponer actividades que permitan al alumno y al profesor el control de la comprensión del texto que se lee.
- Introducir los trabajos prácticos dentro de la unidad didáctica como una actividad más de construcción de conocimientos, plenamente integrada con todas las demás. Deben constituirse en una ocasión privilegiada para aplicar la metodología científica (emisión de hipótesis, diseño de experimentos, análisis resultados, elaboración de una memoria de trabajo, etc).

### **5.3. EN LOS DIAGRAMAS (Y OTRAS ILUSTRACIONES)**

- Dar a conocer las convenciones que se han empleado en la construcción de diagramas.
- Explicar convenientemente los diagramas.

- Interconectar los diagramas con el resto de la información proporcionada en el texto.
- Proponer actividades de aprendizaje (cuestiones, problemas, etc.) para trabajar los diagramas.
- Proporcionar a los estudiantes las explicaciones oportunas para diferenciar modelo científico -boceto conceptual de objetos cuya existencia se asume y que forman parte de al menos una teoría-, diagrama de un modelo científico -construcción física utilizada para representar un modelo científico-, y observación de la realidad física.

## 6. NOTA FINAL.

No podemos acabar este trabajo sin abordar tres puntos que resultan de una gran importancia para la enseñanza/aprendizaje de las ciencias y que, para no romper el hilo argumental que hemos seguido, hemos dejado deliberadamente para este último apartado. Estos tres puntos son las relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad (CTS), los mapas conceptuales y la evaluación.

Como apuntan Solbes y Vilches (1989 y 1992) en los cursos de ciencias no se presentan las características de la ciencia que revelan las profundas relaciones con la técnica y el entorno social. Según estos autores, la inclusión de actividades de aprendizaje CTS puede, entre otras cosas, contribuir a mejorar la actitud de los alumnos hacia la ciencia. En concreto, hay dos tipos de actividades que no deberían faltar en un currículum de ciencias – y, por tanto, en un texto educativo de ciencias-. El primer tipo de actividades es aquel que muestra el papel de la ciencia y de la técnica en la modificación del medio natural, y los problemas que ello comporta: contaminación, cambio climático, agotamiento de recursos,... El segundo tipo de actividades tiene que poner de relieve la influencia de la ciencia en las disciplinas humanísticas (filosofía, arte, religión, ...) y, a su vez, las influencias ideológicas en el desarrollo de las ciencias.

En relación con la resolución de problemas, hemos de tener presente que hay que conseguir previamente una comprensión conceptual de tema que estamos tratando. No se puede pretender conseguir dicha comprensión mediante la resolución de problemas. Una didáctica de las ciencias rigurosa tendría que integrar los procesos de asimilación y aplicación del conocimiento conceptual. Una técnica que puede ser utilizada por los profesores para ayudar a los estudiantes en estas tareas es el mapa conceptual (Pendley, Bretz & Novak, 1994). Los mapas conceptuales pueden ayudar a comprender y a relacionar los conceptos científicos (Novak & Gowin, 1988).

Por otro lado, el trabajo de Alonso, Gil y Martínez-Torregrosa (1992) destaca que la actividad de evaluación que más se lleva a cabo en el aula, los exámenes, no favorece en absoluto el aprendizaje significativo de las ciencias. Para los autores, las actividades de evaluación han de ser un instrumento al servicio de aprendizaje significativo, y constituirse en un elemento de mejora de la enseñanza de las ciencias. Por eso, tienen que introducirse múltiples y diversas actividades de evaluación a lo largo del desarrollo de una unidad didáctica, e incluir actividades de evaluación cuya única finalidad sea proporcionar una retroalimentación adecuada a los alumnos.

Finalmente, se ha de llamar la atención del profesorado respecto de la necesidad de introducir en la evaluación sistemas de medida del aprendizaje no verbales que complementen a los verbales. De este modo, dispondríamos de un índice de aprendizaje que, junto a otros que puedan cubrir otros niveles cognitivos e incluso contener el conocimiento previo de los sujetos, permitan describir con mayor validez y fiabilidad los conocimientos del alumnado tras la instrucción.

Por consiguiente, cualquier texto de ciencias con finalidad pedagógica debería incluir actividades de aprendizaje que resaltaran las relaciones CTS, de elaboración de mapas conceptuales, y otras que sirvieran al profesor como instrumento de evaluación y que contengan sistemas de medida del aprendizaje verbales y no verbales.



## 7. BIBLIOGRAFÍA.

Aguirre de Carcer, I., 1983, Dificultades en la comprensión de las explicaciones de los libros de texto de física. *Enseñanza de las ciencias*, 1, 92-98.

Anderson, J.D. , 1980, *Cognitive psychology and its implications*. San Francisco: W.H. Freeman.

Anderson, TH. y Armbruster, B.B., 1982, Reader and text-studying strategies. En W. Otto y S. White (Eds.), *Reading Expository Material*. New York: Academic Press.

Anderson, T.H. y Armbruster, B.B., 1984, Content area textbooks. En R.C. Anderson, J. Osborne y R.T. Tierney (Eds.), *Learning to read in American schools*. Hillsdale: Erlbaum.

Anderson, T.H. y Armbruster, B.B., 1986, Readable textbook ,or selecting a textbook is not like buying a pair of shoes. En J. Orasau (Ed.), *Reading Comprehension: from research to practice*. Hillsdale: Erlbaum.

Anderson, O.R. y Botticelli, S., 1990, Quantitative analysis of content organization in some biology texts varying in textual composition. *Science Education*, 74, 167-182.

Andersson, B., 1990, Pupils' conceptions of matter and its transformations. *Studies in Science Education*, 18,53-85.

Artz, A. F., & Armour-Thomas, E. , 1992, Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. *Cognition and Instruction*, 9, 137-175.

Astolfi, J.P., 1988,El aprendizaje de conceptos científicos: Aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. *Enseñanza de las ciencias*, 6, 147-155.

Ausubel, D., 1976, *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.

Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H., 1983, *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.

Bachelard, G., 1965, *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris: P.U.F.

Bean, T., Singer, H. y Conan, S., 1985, Analogical study guides: Improving comprehension in Sciences. *Journal of Reading*, 29, 246-250.

Bernárdez, E., 1982, *Introducción a la lingüística del texto*. Madrid: Espasa-Calpe.

Bernardo, A B. I. ,2001, Analogical problem construction and transfer in mathematical problem solving. *Educational Psychology*, 21, 137-150.

Brackenbridge, J.B., 1991, La educación de las ciencias, la historia de las ciencias y el libro de texto, las condiciones necesarias contra las suficientes. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11, 157-169.

Britton, B.K., Glynn, S.M., Meyer, B.J.F. y Penland, M.J., 1982, Effects of text structure on use of cognitive capacity during reading. *Journal of Educational Psychology*, 74, 51-61.

Britton, B.K., Van Dusen, L., Gulgóz, S. y Glynn, S.M., 1989, Instructional texts rewritten by five experts teams: revisions and retention improvements. *Journal of Educational Psychology*, 81, 226-239.

Brooks, L.W. y Dansereau, D.F., 1983, Effects of structural schema training and text organization on expository prose processing, *Journal of Educational Psychology*, 75, 811-820.

Brown, H.I., 1988, *La nueva filosofía de la ciencia*. Madrid: Tecnos.

Bullejos, J., de Manuel, E. y Furió, C., 1993, ¿Sustancias simples y/o elementos?. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (IV Congreso), 217-218.

Bunge, M., 1982, *Teoría y realidad*. Barcelona: Ariel.

Bunge, M., 1985, *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.

Byrnes J. P., 1996, *Cognitive development and learning in instructional contexts*. Boston, MA: Allyn and Bacon.

Carey, S., 1986, Cognitive Science and Science Education. *American Psychologist*, 41, 1123-1130.

Catrambone, R., & Holyoak, K. J. (1989). Overcoming contextual limitations on problem-solving transfer. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1147-1156.

Coromina, E., 1992, El llenguatge eficaç. *Escola Catalana*, 294, 7-12.

Chi, M.T.H., Feltovich, P.J. y Glaser, R., 1981, Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-151.

Chi, M.T.H., Glaser, R. y Rees, E., 1982, Expertise in problem solving. En R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*, Vol. 1. Hillsdale: Erlbaum

Chiappetta, E.L., Sethna, G.H. y Fillman, D.A., 1991, A quantitative analysis of high school chemistry textbooks for scientific literacy themes and expository learning aids. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 939-951.

Corral Iñigo, A., 1987, *Consideraciones acerca de la realización de textos didácticos para la enseñanza a distancia*. Madrid: UNED.

Costa, S. S .C., & Moreira, M.A. , 2001, A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18(3), 263-277.

David Wong, E., 1993, Self-generated analogies as a tool for constructing and evaluating explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 367-380.

Danili, E., & Reid, N. , 2004, Some strategies to improve performance in school chemistry, based on two cognitive factors. *Research in Science and Technological Education*, 22, 203-226.

Dawson, C., 1993, Chemistry in concept. *Education in Chemistry*, 30 (3), 73-75.

De Jong, T. y Ferguson-Hessler, M.G.M., 1986, Cognitive structures of good and poor novice problem solvers in physics. *Journal of Educational Psychology*, 78, 279-288.

Dee Lucas, D. y Larkin J.H., 1990, Organization and comprehensibility in scientific proofs, or "Considerer a particle p...". *Journal of Educational Psychology*, 82,701-714.

Dreyfus, A., 1992, Content analysis of school textbooks: the case of a technology-oriented curriculum. *International Journal of Science Education*, 14, 3-12.

Driver, R., 1988, Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 109-120.

Driver, R., 1989, Students' conceptions and the learning of science. *International journal of Science Education*, 11, 481-490.

Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A., 1989, *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. Madrid: MEC y Morata.

Duffy, J.M., Higgins, L., Mehlembacher, B., Cochram, C, Wallace, D., Hill, C., Haugen, D., McCaffrey, M., Buenet, R., Sloane,S. y Smith, S., 1989, Models for design of instructional text. *Reading research quartely*, 24, 434-456.

Duit, R., 1991, On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649-672.

Dupin, J.J. y Josluia, S., 1989, Analogies and "modelling analogies" in teaching: Some examples in basic electricity. *Science Education*, 73, 207-224.

Dupin, J.J. y Joshua, S., 1990, Una analogía térmica para la enseñanza de la corriente continua en electricidad: Descripción y evaluación. *Enseñanza de las Ciencias*, 8, 119-126.

- Entwistle, N. y Ramsden, P., 1983, *Understanding student learning*. London: Croom Helm.
- Escobedo, M. y Furió, C.J., 1993, ¿Cómo se presenta y razona el equilibrio químico en los textos?. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (IV Congreso), 227-228.
- Escudero, C. ,1995, Resolución de problemas en física: Herramienta para reorganizar significados. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12, 95-106
- Ferguson-Hessler, M.G. y de Jong, T., 1987, On the quality of knowledge in the field of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 55, 492-497.
- Ferguson-Hessler, M.G. y De Jong, T., 1990, Studying Physics Texts: Differences in study processes between good and poor performers. *Cognition and Instruction*, 7, 41-54.
- Flavell, J.H., 1970, Developmental studies of mediated memory. En H.J. Reese, L.P. Lipsitt (Eds.). *Advances in child development and behavior* (Vol. 5). New York: Academic Press.
- Flavell, J.H., 1976, Metacognitive aspects of problem-solving. En B.C. Resnick (Ed.), *La nature of intelligence*. Hillsdale: Erlbaum.
- Friege, G., & Lind G. , 2006, Types and qualities of knowledge and their relation to problem solving in physics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4, 437-465.
- Gabel, D.L. y Bunce, D.M., 1994, Research on problem solving: chemistry. En D.L. Gabel (Ed.). *Handbook of Research on Science Teaching*. McMillan: New York.
- Gabriela, M., Ribeiro, T.C., Costa Pereira, J.V. y Maskill, R., Reaction and spontaneity: The influence of meaning from everyday language on fourth year undergraduates' interpretations of some simple chemical phenomena. *International Journal of Science Education*, 12, 391-401.
- Galagovsky, L.R., 1993, Redes conceptuales: Base teórica e implicaciones para el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 301-307.
- García Madruga, J.A. y Martín Cordero, J.I., 1987, *Aprendizaje , comprensión y retención de textos*. Madrid: UNED.
- Garofalo, J. and Lester, F. , 1985, Metacognition, cognitive monitoring, and mathematical performance. *Journal of Research in Mathematics Education*, 16 (3), 163-176.
- Gathercole, S. E. , 2004, Working memory and learning during the school years. *Proceedings of the British Academy*, 125, 365-380.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. , 1983, Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.

- Gil,D. y Martínez-Torregrosa, J., 1983, A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5, 447-455.
- Gil, D. y Payá, J., 1988, Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (2), 73-79.
- Gil, D., Senent, F. y Solbes, J., 1986, Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (1), 16-21.
- Gilbert, S.W., 1989, An evaluation of the use of analogy, simile, and metaphor in science texts. *Journal of research in science teaching*, 26, 315-327.
- Gilbert, S.W., 1991, Model building and a definition of science. *Journal of research in Science Teaching*, 28, 73-79.
- Goldstone, R. L. & Sakamoto, Y. , 2003, The transfer of abstract principles governing complex adaptative systems. *Cognitive Psychology*, 46, 414-466.
- Grize, J.B., 1992, Sur la nature du discours d'information scientifique. *Aster*, 14,1-52.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C.L., 1991, Understanding Models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Halpern, D., 1990, Analogies as an aid to understanding and memory. *Journal of Educational Psychology*, 82, 298-305.
- Hanson, N R. , 1985, *Patrones de descubrimiento. Observación y explicación*. Madrid: Alianza Editorial.
- Healy, V.C., 1989, The effects of advance organizer and prerequisite knowledge passages on the learning and retention of science concepts. *Journal of research in Science Teaching*, 26, 627-642.
- Hegarty-Harzel, E. y Prosser, M., 1991, Relationship between students' conceptual knowledge and study strategies-part 1: student learning in physics. *International Journal of Science Education*, 13, 303-312.
- Hellman, W., 1989, Conceptual versus non conceptual questions in the grading of physics students. *The Physics Teacher*, 26, 383-386
- Hierrezuelo, J. y Montero, A., 1989, *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*. Barcelona: Mee y Laia.
- Hodson, D., 1988, Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education* 72, 19-40.

Hynd, C. y Alvermann, D., 1986, The role of refutation text in overcoming difficulty with science concepts. *Journal of reading*, 29, 440-447.

Johnstone, A. H., & El-Banna, H. ,1986, Capacities, demands and processes-a predictive model for science education. *Education in Chemistry*, 23, 80-84.

Jonassen, D. , 2000, Toward a design theory of problem-solving. *Educational Technology: Research and Development*, 48, 63-85.

Just, M.A. y Carpenter, P.A., 1987, *The Psychology of reading and language comprehension*. Boston: Allyn and Bacon.

Kauchak, D P.. Eggen, P. y Kirk, S., 1978, The effect of cue specificity on learning from graphical materials in science. *Journal of Research in Science Teaching*. 15, 499-503.

Kempa, R.F., 1986, Resolución de problemas de Química y Estructura Cognoscitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 4, 99-110.

Kempa, R.F., 1991, Students' learning difficulties in Science. Causes and possible remedies. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 119-128.

Kempa, R.F. y Nicholls, C.E., 1983, Problem-solving ability and Cognitive Structure: An exploratory investigation. *European Journal of Science Education* 5, 171-184.

Kintsch, W., 1989, Learning from text. En L.B. Resnick (Ed.), *Knowing Learning and Instruction*. Hillsdale: Erlbaum

Kintsch, W. y Greeno, J.G., 1985, Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, 92, 109-129.

Kintsch, W. y Van Dijk, T.A., 1978, Toward a model of discourse comprehension and production. *Psychological review*, 85, 363-394.

Kuhn, T.S., 1987, *La tensión esencial. Estudios selectos sobre la tradición y cambio en el ámbito de la ciencia*. México: FCE.

Lahore Alberto, A., 1993, Lenguaje literal y connotado en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 59-62.

Lang de Silveira, F., Moreira, M.A. y Axt, R., 1992a, Habilidad en preguntas conceptuales y en resolución de problemas de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 58-62.

Lang de Silveira, F., Moreira, M.A.y Axt, R., 1992b, Estrutura interna de testes de conhecimento em Física: Um exemplo em mecânica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 187-194.

Larkin, J.H. y Reif, F., 1979, Understanding and teaching problem-solving in physics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 191-203.

Lederman, N.G., 1992, Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.

Lee, K. W. L. ,1985, Cognitive variables in problem solving in chemistry. *Research in Science Education*, 15, 43-50.

Lee, K. W. L., Goh, N. K., Chia, L. S., & Chin, C. , 1996, Cognitive variables in problem solving in chemistry: A revisited study. *Science Education*, 80, 691-710.

Leonard, W.H., 1987, Does the presentation style of questions inserted into text influence understanding and retention of science concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 27-37.

Leonard W.H. y Lowery, L.F., 1984, The effects of question types in textual reading upon retention of biology concepts. *Journal of research in science teaching*, 21,377-384.

Levin, J.R., Anglin. G.J y Carney, R.N. , 1987, On empirically validating functions of pictures in prose. En D.M. Willows y H A Houghton (Eds.), *The psychology of illustration: Vol 1. Basic research (pp.51-58)* New York: Springer-Verlag.

Loewenstein, J., Thompson, L. & Gentner, D. ,1999, Analogical encoding facilitates knowledge transfer in negotiation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 586-597.

Logan, S.R. y Logan, W.P. Scientifically speaking...*Education in Chemistry*, 30 (2), 50-54.

Longo, P. J., Anderson, O. R., & Wicht, P., 2002, Visual Thinking Networking promotes problem solving achievement for 9<sup>th</sup> Grade earth science students. *Electronic Journal of Science Education*, 7 (1). Article seven. Retrieved November 20, 2006, from <http://unr.edu/homepage/jcannon/ejse/ejse.html>

Lopes, A.R.C., 1990, *Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química*. Dissertação Mestrado IESAE, FGV: Rio de Janeiro. Citado en Lopes, A.R.C., 1993, Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 324-330.

Lorenzo, M., 2005, The development, implementation, and evaluation of a problem solving heuristic. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3, 33-58.

Lowe, R. , 1986, The scientific diagram: Is it worth a thousand words?. *The Australian Science Teachers' Journal*, 32, 7-13.

Lowe, R. ,1988, Drawing comparisons: School science and professional science. *The Australian Science Teachers' Journal*, 33, 32-39.

Llorens, J.A., 1988, La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la escuela*, 4,33-48.

LLorens, J.A., De Jaime, M.C. y Llopis, R., 1989, La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 7, 111-119.

MacDonald-Ross, M., 1979, Scientific diagrams and the generation of plausible hypotheses: An essay in the history of ideas. *Instructional Science*, 8, 223-234.

Manjares, G., 2000, La dicotomía teoría-laboratorio, un proceso en la vida cotidiana de la enseñanza de las ciencias experimentales. En *Actas de los XIX encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 13-15 Septiembre, Madrid.

Martinand, J.L., 1986, Enseñanza y aprendizaje de la modelización. *Enseñanza de las ciencias*, 4, 45-50.

Mayer, R.E., 1985, Structural analysis of science prose: Can we increase problem-solving performance?. En B.K. Britton y J.B. Black (Eds.), *Understanding Expository texts*. Hillsdale: Erlbaum.

Mayer, R.E., 1989, Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of Educational Psychology*, 81, 240-246.

Mayer, R.E. y Gallini, J.K., 1990, When Is an illustration worth ten thousand words?. *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726.

Mayer, R. E., 1998, Cognitive, metacognitive, and motivational aspects of problem-solving. *Instructional Science*, 26, 49-63.

Mayer, R. E., 1992, *Thinking, problem solving and cognition* (2<sup>nd</sup> Ed.). New York: Freeman.

Mazur, E., 1996, Conceptests. Prentice-Hall: Engle wood Cliffs, N. J.

Meheut, M., Larcher, C. y Chomat, A., 1988, Modelos de partículas en la iniciación a las ciencias físicas. *Enseñanza de las ciencias*, 6, 231 -238.

Merrill, M.D., 1983, Component Display Theory. En Ch. M. Reigeluth (Ed.): *Instructional Design Theories and Models: an overview of their current status*. Hillsdale: Erlbaum.

Merrill, M.D., 1987, A lesson based on the component display theory. En Ch. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional theories in action*. Lessons Illustrating selected theories and models. Hillsdale: Erlbaum.

Meyer, B.J.F., 1984, Text dimensions and cognitive processing. En H. Mandl. N. Stein, T. Trabasso (Eds.), *Learning from texts*. Hillsdale: Erlbaum.



Meyer, L.A., Crumme, L y Creer, E.A., 1988, Elementary science textbooks: Their contents, text characteristics, and comprehensibility. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 435-463.

Nakhleh, M.B. y Mitchell, R.C., 1993, Concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, 70, 190-192.

Neto, A.J., 1991, Factores psicológicos de insucesso na resolução de problemas de Física: Uma amostra significativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 275-280.

Novak, J.D., 1988a, Constructivismo humano: Un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 213-223.

Novak, J.D., 1988b, Learning Science and the Science of Learning. *Studies in Science Education*, 15, 77-101.

Novak, J.D., 1991, Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender. La opinión de un profesor-investigador. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 215-228.

Novak, J.D. y Gowin, D.B., 1988, *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez-Roca.

Nurrenbern, S.C. y Pickering, M., 1987, Concept learning versus problem solving: Is there a difference. *Journal of Chemical Education*, 64, 508-510.

Nussbaum, J., 1989, La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC-Morata.

Otero, J.C., 1985, Assimilation problems in traditional representations of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7, 361-369.

Otero, J.C., 1989, La producción y la comprensión de la ciencia: La elaboración en el aprendizaje de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, 223-228.

Otero, J.C., 1990, Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: El papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las ciencias*, 8, 17-22.

Otero, J.C. y Campanario, J.M., 1990, Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts, *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 447-460.

O'Neil, H. F., & Schacter, J., 1999, *Test specifications for problem solving assessment*. Retrieved March 1, 2007, from <http://www.cse.edu/Reports/TECH463.pdf>

Opdenacker, C, Fierens, H., Brabant, H. V., Sevenants, J., Sootamekers, P. J., et al., 1990, Academic performance in solving chemistry problems related to student working memory capacity. *International Journal of Science Education*, 12, 177-185.

Paivio, A., 1971, *Imagery and Verbal processes*. New York: Holt Rinehart and Winston.

Pankratius, organized knowledge base: Concept mapping and achievement in secondary school physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 315-333.

Payá, J., 1991, *Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física y la Química. Un Análisis crítico y una propuesta fundamentada*. Tesis Doctoral. Universitat de València.

Pedersen, J, Bonntettrr, R.J., Corkill, A.J. y Glover, J.A., 1988, Learning Chemistry from text: The effect of decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 15-21.

Pendley, B. D., Bretz, R.L., & Novak, J. D. ,1994, Concept map as a tool to assess learning in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 71, 9-15.

Perrig,W. y Kintsch, W., 1985, Propositional and situational representations of text. *Journal of Memory and Language*, 24,505-518.

Pozo, J.I., 1989, *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.

Pozo León, A. y Llorens Molina, J.A., 1993, Análisis de la introducción del concepto de mol a través de los manuales escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (IV Congreso), 265-266.

Quílez Pardo, J., Solaz Portóles, J.J., Castelló Hernández, M. y Sanjosé López, V., 1993, La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico: Limitaciones del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las Ciencias*, 11,281-288.

Rebello, N. S., Cui, L., Bennet, A. G., Zollman, D. A., & Ozimek, D. J. , 2007, Transfer of learning in problem solving in the context of mathematics and physics. In D. Jonassen (Ed.), *Learning to solve complex scientific problems*. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum.

Reigeluth, Ch. M., 1987, Lesson Blueprints based on the Elaboration Theory of instruction. En Ch. M. Reigeluth (Ed.): *Instructional theories in action: Lessons illustrating selected theories and models*. Hillsdale: Erlbaum.

Reigeluth, Ch.M.y Stein, F.S., 1983, The Elaboration Theory of instruction. En Ch. M. Reigeluth (Ed.): *Instructional Design Theories and Models: an overview of their current status*. Hillsdale: Erlbaum.

Renner, J.W., Abraham, M.R., Bross, E. y Marek, E.A., 1990, Understandings and misunderstandings of eighth graders of four physics concepts founds in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 35-54.

Renstrom, L., Andersson, B. y Marton, T., 1990, Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82, 555-569.

Reynolds, R.E. y Baker, D.R., 1987, The utility of graphical representations in text: Some theoretical and empirical issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 161-173.

Rossi, J.P., 1990, The function of frame in the comprehension of scientific text. *Journal of Educational Psychology*, 82, 727-732.

Roth, K. y Anderson, Ch, 1986, Promoting conceptual change learning from science textbooks. En P. Ramsden (ed.): *Improving learning: New perspectives*. Londres: Kogan.

Rumelhart, D.E., 1977, Toward an interactive model of reading. En S. Dornic (Ed.): *Attention and Performance (Vol VI)*. Hillsdale: Erlbaum.

Rumelhart, D.E., 1980, Schemata: the building blocks of cognition. En R.J. Spiro, B.C. Bruce, W.F. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension*. Hillsdale: Erlbaum.

Sanjosé López V., Solaz Portóles J.J., y Vidal-Abarca, E., 1993, Mejorando la efectividad instruccional del texto educativo en ciencias: Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 137-148.

Sanmartín, N., Márquez, C. y García-Rovira, P., 2002, Los trabajos prácticos, punto de partida para aprender ciencias. *Aula de innovación educativa*, 113, 8-13

Santelices, L., 1990, La comprensión de la lectura en textos de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 8, 59-64.

Sari, I.F. y Reigeluth, Ch.M, 1982, Writing and Evaluating textbooks: Contributions from instructional theory. En D.H. Jonassen (Ed.), *The technology of text*. Greenboro (North Carolina): Educational technology publications.

Sawrey, B.A., 1990, Concept learning versus problem solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67, 253-254.

Shavelson, R.J., Ruiz-Primo, M.A. & Wiley, E.W. , 2005, Windows into the mind. *Higher Education*, 49, 413-430.

Simons, P.R.J., 1984, Instructing with analogies. *Journal of Educational Psychology*, 76, 513-527.

Solaz Portolés, J.J., 1990, Una práctica con el péndulo transformada en una investigación. *Revista Española de Física*, 4(3), 87-94

Solaz Portolés, J.J., 1993, Pourquoi continuer à apprendre le principe de Le Chatelier?. *Bulletin de la Union des Physiciens*, 87, 895-908.

Solaz Portolés, J.J. y Sanjosé López, V., 1993b, Imprecisiones en el tratamiento termodinámico de la disolución de sólidos iónicos en agua. *Resúmenes de Comunicaciones, Tomo II, de la XXIV Biental de la Real Sociedad Española de Física (DI 36)*.

Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé, V., 2006, ¿Podemos predecir el rendimiento de nuestros alumnos en la resolución de problemas?. *Revista de Educación*, 339, 693-710. Retrieved January 5, 2007, from <http://www.revistaeducacion.mec.es>

Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé, V., 2007a, Cognitive variables in science problem solving: A review of research. *Journal of Physics Teachers Education Online*, 4(2), 25-32. Retrieved April 28, 2007, from <http://www.phy.ilstu.edu/jpteo>.

Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé, V., 2007b, Representations in problem solving in science: Directions for practice. *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 8(2), Article 4. Retrieved January 15, 2008, from <http://www.ied.edu.hk/apfslt>

Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé, V., 2008a,. Piagetian and Neo-Piagetian variables in science problem solving. *Ciências & Cognição*, 13 (2), 192-200. Retrieved August 5, 2008, from <http://www.cienciasecognicao.org>

Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé, V. 2008b, Working memory in science problem solving: A review of research. Aceptado para publicación en *Revista Mexicana de Psicología*.

Stevens, R., & Palacio-Cayetano, J., 2003, Design and performance frameworks for constructing problem-solving simulations. *Cell Biology Education*, 2, 162-179.

Solaz Portolés, J.J., Vidal-Abarca, E. y Sanjosé, V., 1993a, Análisis didáctico, epistemológico e histórico de la introducción de los modelos atómicos en los textos de 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (IV Congreso), 283-284.

Solaz Portolés, J.J., Vidal-Abarca, E. y Sanjosé, V., 1993b, El aprendizaje de un texto de ciencias: Análisis de las variables implicadas. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (IV Congreso), 129-130.

Solbes, J. y Martín, J., 1991, Análisis de la introducción del concepto de campo. *Revista Española de Física*, 5 (3), 34-39.

Solbes Matarredona, J. y Zacarés García J., 1993, ¿Qué sucede con la enseñanza de la óptica?. *Revista Española de Física*, 1 (4), 38-43.

Solbes, J. y Vilches, A., 1989, Interacciones Ciencia/Técnica/Sociedad: un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, 14-20.

Solbes, J. y Vilches, A., 1992, El modelo constructivista y las relaciones C/T/S. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 181-188.

Spiro, R.J., 1980, Constructive processes in prose comprehension and recall. En R.J. Spiro, B.C. Bruce, W.F. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension*. Hillsdale: Erlbaum.

Staver, J.R. y Bay M., 1989, Analysis of the conceptual structure and reasoning demands of elementary science texts at the primary (K-3) level. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 329-349.

Stavy, R., 1991, Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 305-313.

Stinner, A., 1989, The teaching of Physics and the contexts of inquiry: From Aristotle to Einstein. *Science Education*, 73, 591-605.

Stinner, A., 1992, Science textbooks and science teaching: From logic to evidence. *Science Education*, 76, 1-16.

Storey Vasu E. y Howe, A. C., 1989, The effect of visual and verbal modes of presentation on children's retention of images and words. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 401-407.

Strube, P., 1989a, The notion of style in physics textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 291-299.

Strube, P., 1989b, A content analysis of arguments and explications presented to students in physical science textbooks: a model and a example. *International Journal of Science Education*, 11, 195-202.

Taconis, R., Ferguson-Hessler, M. G. M, & Broekkamp, H., 2001, Teaching science problem solving: An overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 442-468.

Tamir, P., Garcia, M.P., 1992, Characteristics of laboratory exercises included in science textbooks in Catalonia (Spain). *International Journal of Science Education*, 14, 381-392.

Teong, S. K., 2003, The effect of metacognitive training on mathematical word-problem solving. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, 46-55.

Tsaparlis, G. , 1998, Dimensional analysis and predictive models in problem solving. *International Journal of Science Education*, 20, 335-350.

Tsaparlis, G. , 2005, Non-algorithmic quantitative problem solving in university physical chemistry: a correlation study of the role of selective cognitive factors. *Research in Science & Technological Education*, 23, 125-148.

Tsaparlis, G., & Angelopoulos, V., 2000, A model of problem solving: Its operation, validity, and usefulness in the case of organic-synthesis problems. *Science Education*, 84, 131-153.

Van Dijk, J.A. y Kintsch, W., 1983, *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.

Vidal-Abarca, E., 1989, *La comprensión lectora de ideas principales en textos expositivos del ciclo medio de la E.G.B.: Programa de instrucción y procesos explicativos*. Tesis Doctoral no publicada: Universitat de Valencia.

Wandersee, J.H., 1988, Ways students read texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 69-84.

Warnakulasooriya, R., & Pritchard, D. E. , 2005, Learning and problem-solving transfer between physics problems solving using web-based homework tutor. Conference Proceedings: EdMedia-World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (pp. 2976-2983). Retrieved December 2, 2007, from <http://relate.mit.edu/publications.html>

West, L.H.T. y Pines, A.L. (Eds.), 1985, *Cognitive Structure and conceptual change*. New York: Academic Press.

White, R.T. y Tisher, R.P., 1986, Research on Natural Sciences. En M.C. Wittrock (Ed.), *Handbook of leaching*. New York: Mc Millan Publishsing.

Wheeler, A.E. y Hill, D. , 1990, Diagram-ease. Why students misinterpret diagrams. *The Science Teacher*, 57(5), 59-63.

Williams, R.L. y Yore, L.D., 1985, Content, format, gender, and grade level differences in elementary students' ability to read science materials as measured by the cloze procedure. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 81-88.

Wood, T.L. y Wood, W.L., 1988, Assessing potential difficulties in comprehending fourth grade science textbooks. *Science Education*, 72, 561-574.

Yore, L.D., 1991, Secondary science teachers' attitudes toward and beliefs about science reading and science textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 55-72.

Zajchowski, R., & Martin, J., 1993, Differences in the problem solving of stronger and weaker novices in physics: knowledge, strategies, or knowledge structure. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 459-470.

Zoller, U., Lubezky, A., Nakhleh, M. B., Tessier, B., & Dori, Y. J., 1995, Success on algorithmic and LOCS vs. conceptual chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, 72, 987-989.