

**Una aproximación a la resolución  
de problemas de lápiz y papel en el  
aula de ciencias**

Joan Josep Solaz-Portolés.

*A Magdalena i Georgina,  
que donen sentit a la meua vida*

1.INTRODUCCIÓN.....	4
2.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	
2.1.FACTORES COGNITIVOS QUE INCIDEN EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.....	7
2.2.REPRESENTACIONES MENTALES Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS. .....	12
2.3.PROBLEMAS ALGORÍTMICOS Y CONCEPTUALES.....	17
3.MARCO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN: OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS.....	19
4.METODOLOGÍA.	
4.1. EXPERIMENTO 1.....	22
4.1.1.Sujetos.	
4.1.2.Materiales.	
4.1.3.Procedimiento.	
4.1.4.Resultados.	
4.1.5.Discusión	
4.2. EXPERIMENTO 2.....	42
4.2.1.Sujetos.	
4.2.2.Materiales.	
4.2.3.Procedimiento.	
4.2.4.Resultados.	
4.2.5.Discusión.	

5. CONCLUSIONES.....	54
6. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS.....	57
7. BIBLIOGRAFÍA.....	62
8. ANEXOS.....	72

## 1.INTRODUCCIÓN

Es este un trabajo que pretende aproximarse a una actividad de enseñanza/aprendizaje de conceptos y de habilidades en el aula de ciencias: la resolución de problemas. La resolución de problemas en el aula es una habilidad 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 y Moreira, 2001). Esta actividad es, además, una actividad evaluadora tanto del aprendizaje como de los procesos cognitivos que desarrollan los estudiantes. De hecho, la destreza para resolver problemas es uno de 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. Muchas veces se explica el fracaso generalizado de los estudiantes en la resolución de problemas señalando que no comprenden los contenidos, que sus conocimientos matemáticos son insuficientes o que no realizan una lectura comprensiva del enunciado. Con todo, la actitud del alumno ante la resolución de problemas no puede obviarse y frecuentemente no es la más apropiada para dirigirse hacia una solución exitosa (Escudero, 1995).

Para Joseph Novak, la resolución de problemas es un caso especial de aprendizaje significativo, en la medida que esta tarea requiere incorporar nueva información en la estructura cognitiva del sujeto que la realiza (Novak, 1982). Otros investigadores en la resolución de problemas sostienen la misma opinión y defienden la resolución de problemas como medio para promover tal aprendizaje (Costa y 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 puede ser abordada desde diferentes perspectivas. Nosotros vamos a centrarnos en el solucionador del problema, indagando qué factores influyen en la resolución, de dónde pueden surgir las dificultades y qué variables instruccionales pueden permitir superarlas. No obstante, también trataremos de manera colateral la naturaleza de problema, fijando nuestra atención en los denominados problemas algorítmicos y conceptuales.

Si tomamos como base un diseño instruccional en ciencias en el que se parte del conocimiento previo del alumno y que pretende lograr la asimilación de unos conocimientos específicos que le posibiliten resolver problemas, podemos distinguir dos fases. En la primera, el alumno, que ya dispone de una base de conocimientos, interviene en un proceso de instrucción tras el cual habrá modificado, ampliado o reestructurado dichos conocimientos. En la segunda, el alumno elabora a partir de estos conocimientos y del enunciado del problema representaciones mentales que le guían en el proceso de resolución.

Nuestro interés radica, en primer lugar, en analizar las variables que intervienen en la primera fase, sobre todo aquéllas que pueden tener mayor relevancia en una situación educativa convencional. En segundo lugar, queremos describir las representaciones mentales que los estudiantes construyen en la segunda fase, y sacar a la luz cómo influyen en el éxito de la resolución de problemas. En tercer y último lugar, estudiar la contribución de distintas variables instruccionales en la construcción de las representaciones mentales necesarias para solucionar correctamente los problemas.

Para conseguir estos objetivos iniciaremos el trabajo con una revisión bibliográfica que nos dará la oportunidad de fundamentar teóricamente nuestras hipótesis. A continuación, expondremos los experimentos realizados para contrastar dichas hipótesis. Finalmente, discutiremos los resultados obtenidos y resaltaremos las implicaciones didácticas que de ellos se derivan.

## **2.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.**

### **2.1 FACTORES COGNITIVOS QUE INCIDEN EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.**

Durante las últimas décadas han sido muchos los trabajos que, tanto desde una perspectiva teórica como desde una perspectiva experimental, han intentado sacar a la luz los factores que inciden en el aprendizaje de las ciencias. Gran parte de la reciente literatura en didáctica de las ciencias se ha ocupado en la identificación, explicación y mejora de las dificultades de los estudiantes en la comprensión de conceptos científicos. En dicha literatura, se pone en evidencia 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; Treagust et al., 2000; Wandersee et al., 1994; West y Pines, 1985).

No obstante, existen otros factores que influyen en el aprendizaje en ciencias y destaca, entre todos ellos, el *nivel de desarrollo mental* o *nivel psicoevolutivo* del alumno. De hecho, los seguidores de la teoría de Piaget afirman que no se puede asimilar significativamente conceptos y principios científicos sin haber alcanzado el denominado *nivel de operaciones formales* (Herron, 1978). En dicho nivel, el más alto del desarrollo cognitivo, los sujetos son capaces de pensar de manera hipotético-deductiva, buscar relaciones entre variables, controlar variables, utilizar modelos científicos, etc. Esto es, las operaciones mentales no se limitan al campo de los datos inmediatos sino que, por el contrario, los hechos reales inmediatos entran a formar parte de un subconjunto de lo posible (Gutiérrez, 1987). La estrecha correlación entre el éxito académico en ciencias y

la *capacidad de razonamiento formal* ha sido puesta de manifiesto en trabajos como los de Bunce y Hutchinson (1993), Níaz (1987) y Robinson y Níaz (1991).

Por otro lado, otras investigaciones han revelado que el *conocimiento previo* de los alumnos está relacionado, de manera estadísticamente significativa, con los resultados en las actividades de alto nivel cognitivo como, por ejemplo, la resolución de problemas (Chandran et al., 1987; Hussein Zeitoun, 1989; Lawson, 1983; Lee et al., 1996 y 2001). De este modo, han dado soporte empírico a los defensores de los postulados de la teoría de la asimilación de Ausubel (Novak 1988a y 1991), en los que se destaca el papel primordial del *conocimiento previo* en los procesos cognitivos involucrados en el aprendizaje. Además, hemos de señalar que en los trabajos anteriormente citados se han examinado simultáneamente los efectos de otras variables. En los tres primeros, se distingue la variable *capacidad de razonamiento formal*, que también resultó ser una buena variable predictiva del rendimiento en dichas actividades. Por su parte, los dos últimos resaltan como variables predictivas del rendimiento en la resolución de problemas la *aptitud para conectar la información del problema con la que se dispone en la estructura cognitiva* y la *pericia para procesar* (comprender, analizar, interpretar, etc.) *la información que suministra el enunciado del problema*.

Son diversos los investigadores que defienden que la *cantidad de conceptos y estructuras proposicionales en la memoria a largo plazo* del individuo constituyen un factor limitante para abordar óptimamente la resolución de problemas (Dawson, 1993; Kempa, 1991; Novak, 1988a). En los trabajos de Kempa (Kempa y Nicholls, 1983; Kempa, 1986) se comparan 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 autor, las dificultades para resolver problemas pueden ser atribuibles a la ausencia de conceptos y/o relaciones entre ellos en la estructura cognitiva, así como a la presencia de conceptos y relaciones falsos o irrelevantes (Kempa, 1991).

Otro factor cognitivo cuya importancia en la resolución de problemas ha sido puesta de relieve en un buen número de artículos es la *memoria a corto plazo*, también llamada memoria de trabajo, operativa, inmediata o funcional (Johnston y El-Banna, 1986; Johnston et al., 1993; Níaz, 1987). En esta memoria se retiene transitoriamente la información para su codificación y ulterior almacenamiento en la memoria a largo plazo (St.-Yves, 1988). Asimismo, en ella se procesan simultáneamente del orden de siete unidades o trozos de información, cuyas características dependen de los sujetos, y es la responsable de los bloqueos cognitivos que se producen en la resolución de problemas (Neto, 1991). Por otra parte, la eficacia de la *memoria a corto plazo* aumenta con la cantidad y calidad de las estructuras cognitivas (Novak, 1991). Es decir, cuanto mayor sea el grado de organización y estructuración de los conocimientos en la *memoria a largo plazo*, tanto menor será el número de unidades o trozos de información de la *memoria a corto plazo* que se tienen que utilizar y, en consecuencia, mayor probabilidad de resolver los problemas con éxito (Neto, 1991).

Las *estrategias* que utilizan los sujetos en los distintos procesos y actividades de aprendizaje también han resultado ser decisivas. Así, Meyer (1984) ha comprobado que los sujetos con mejores *estrategias de estudio* recuerdan más información y de manera más organizada. Just y Carpenter (1987) apuntan que el principal ingrediente del

aprendizaje a partir de un texto es la utilización de *estrategias de estudio* que organicen el contenido textual y lo conecten con el conocimiento previo del lector. En completa consonancia con el trabajo anterior, Hegarty-Hazel y Prosser (1991) constatan que los estudiantes que hacen uso de *estrategias de estudio* en las que se intenta dar estructura y organización a la nueva información, además de relacionarla con lo que ya saben, generan un mejor conocimiento proposicional o conceptual y resuelven mejor los problemas. De los estudios de Scardamalia y Bereiter (1984) y de Brown y colaboradores (1983), se puede concluir que los estudiantes con *estrategias* más eficientes, que suelen ser los de mayor edad, captan mejor el significado global de un texto y generan una representación más organizada, jerárquica y coherente del contenido textual. Por último, señalar que los alumnos que mejor resuelven los problemas son aquellos que procesan la información textual con más profundidad, esto es, los que son capaces de *integrar los diversos contenidos y obtener un significado global del texto* (Ferguson-Hessler y de Jong, 1990); y los que tienen la habilidad de *discriminar la información relevante de la menos importante* (Johnstone et al., 1993).

En resumen, de acuerdo con todo lo dicho hasta aquí, cabe esperar que los alumnos que mejor resuelven los problemas tengan las siguientes características:

1. Mayor *conocimiento previo* sobre la materia del problema.
2. Más *habilidad de razonamiento formal*.
3. Más *cantidad de conceptos y de relaciones entre ellos* (sobre la materia del problema) *en la memoria a largo plazo*, es decir, más *conocimiento conceptual*.
4. Más *capacidad de memoria a corto plazo*.

5. Mayor *aptitud para procesar la información del enunciado del problema y para encajarla dentro de los esquemas de conocimiento.*
6. Mejores *estrategias de estudio que comporten un procesamiento más profundo de la información presentada: estructuración, integración, organización y selección de los contenidos.*

## **22. REPRESENTACIONES MENTALES Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.**

Los trabajos de Santamaría y colaboradores (1996) y García-Madruga y colaboradores (2002) son dos muestras de investigadores en el área de ciencia cognitiva que han puesto de manifiesto en sus estudios la importancia que tienen los modelos mentales en el razonamiento humano. Más en concreto, en dichos estudios se destaca la potencialidad de la teoría de modelos mentales propuesta por Johnson-Laird (1983, 1990, 1996 y 2000). La teoría se basa en el supuesto de que la mente construye modelos internos del mundo externo y que usa estos modelos mentales para razonar y tomar decisiones. Cada modelo mental representa una posibilidad en el razonamiento y comprensión de fenómenos, situaciones o procesos, y reproduce aquéllos captando sus elementos y atributos más característicos. Los modelos mentales pueden representar relaciones entre entidades tridimensionales o abstractas; pueden ser estáticos o dinámicos; y pueden servir de base a imágenes, aunque muchos componentes de los modelos no sean visualizables. A diferencia de las representaciones proposicionales, los modelos mentales no tienen estructura sintáctica: son representaciones que reproducen de modo análogo la estructura de aquello que se intenta representar. No obstante, en ellos se pueden utilizar representaciones en forma de proposiciones o imágenes. No son representaciones duraderas –en la memoria a largo plazo- como los esquemas de conocimiento, los modelos mentales son constructos que se concretan con los datos que en un momento preciso percibe el individuo, esto es, se procesan en la memoria a corto plazo o memoria de trabajo. Es de destacar que, para esta teoría, el número de modelos es el principal factor de dificultad en el razonamiento silogístico. De hecho, aquellos problemas en los que se han de generar dos o tres modelos mentales resultan más difíciles que aquellos en los que sólo se requiere uno (Johnson-Laird y Bara, 1984).

Por su parte, la escuela del Profesor Marco A. Moreira ha sacado fruto de dicha teoría en el campo de la didáctica de las ciencias. Este autor, en un primer artículo introductorio en el que se enfocan los modelos mentales bajo la óptica de la teoría de Johnson-Laird, pretendió ofrecer una base teórica con la que analizar los procesos cognitivos implicados en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias (Moreira, 1996). Posteriormente, basándose en esta teoría Greca y Moreira (1998) intentan detectar el tipo de representación mental que utilizan alumnos universitarios cuando resuelven problemas y cuestiones sobre el concepto de campo electromagnético. Costa y Moreira (2001) inciden en la construcción de un adecuado modelo mental a partir del enunciado de un problema como condición necesaria para resolverlo. Rodríguez-Palmero, Marrero-Acosta y Moreira (2001) muestran cómo de indispensable es construir modelos mentales para comprender el funcionamiento de la materia viva. Por último, varios trabajos de esta escuela buscan delimitar y encajar la teoría de modelos mentales dentro de otras teorías de construcción del conocimiento y de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias (Greca y Moreira 2002a y b; Moreira, Greca y Rodríguez-Palmero, 2002 y Rodríguez-Palmero, 2004).

Centrándonos en la resolución de problemas, no podemos dejar de indicar que otros psicólogos cognitivos también han recurrido a los modelos mentales como estructuras cognitivas que elaboran los estudiantes en los procesos de resolución. Así, Anderson (1995) considera los modelos mentales como la síntesis del conocimiento declarativo en un constructo que va siendo optimizado para resolver los problemas. Recordemos que el conocimiento declarativo es *el saber qué*. Es decir, es el contenido específico o conocimiento factual dentro de una disciplina o dominio; e incluye hechos, conceptos y

principios . Para este autor, para resolver problemas hay que hacer funcionar y reestructurar modelos mentales y para ello es necesario desarrollar una sólida base de conocimiento declarativo. En consecuencia, desarrollar modelos mentales resulta clave para tener éxito en la resolución de problemas. Mayer (1992) propone un modelo cognitivo para explicar la resolución de problemas. Este modelo cognitivo puede resumirse en *dos pasos* principales: traducción e integración del problema, y planificación y ejecución de la solución. En el *primer paso*, se requiere que el solucionador transforme la información del enunciado, de acuerdo con el conocimiento disponible, en un modelo mental. El *segundo paso*, en el que se perfila una estrategia de resolución del problema, depende de la transformación eficaz del problema en un correcto modelo mental. Durante la planificación de la resolución se debe ensamblar la información proporcionada por el problema –incluyendo obviamente aquello que se nos pide en el problema- con la que se encuentra almacenada en la memoria de trabajo en los esquemas de conocimiento. Si no se puede efectuar el ensamblaje no se obtiene una estrategia de resolución. Además, este psicólogo recomienda enseñar a los estudiantes a identificar estrategias de resolución comunes a través de diferentes problemas y contextos.

También los investigadores en el área de la didáctica de las ciencias han fijado su atención en las representaciones mentales –modelos mentales- que los estudiantes construyen cuando intentan resolver un problema (Bodner y Domin, 2000; Buteler et al., 2001; Coleoni et al., 2001; Otero et al., 1998). Sólo los dos últimos trabajos citan la teoría de modelos mentales de Jhonson-Laird, sin embargo, todos ellos ponen el acento en la relevancia de la formación de modelo mentales correctos para resolver bien los problemas. Bodner y Domin (2000) señalan que los estudiantes que tienen éxito en la

resolución de problemas de Química elaboran de promedio más modelos mentales que los que no lo tienen. Además, ambos grupos de estudiantes difieren en la naturaleza de sus representaciones mentales: las de los primeros son predominantemente simbólicas (contienen símbolos que describen o se aproximan la realidad física), en tanto que las de los otros son predominantemente verbales (contienen proposiciones, oraciones o frases). Estos resultados son totalmente acordes con los obtenidos por Greca y Moreira (1996 y 1998), que constataron que el mejor desempeño en los problemas de electromagnetismo se daba en los alumnos que habían formado un modelo mental de campo electromagnético que se aproximaba al modelo conceptual usado por físicos expertos. En cambio, los alumnos que trabajaron sólo con proposiciones (fórmulas, definiciones y enunciados de leyes) aisladas, limitándose a aplicarlas mecánicamente, tuvieron peor desempeño.

Por otra parte, desde el punto de vista instruccional resulta de interés destacar que, según la teoría de Kintsch y Van Dijk (Kinstch, 1998; Kinstch y van Dijk, 1978; van Dijk y Kinstch, 1983), cuando un estudiante lee o estudia un texto también crea representaciones mentales del mismo en su mente. Esta teoría, que ha sido contrastada experimentalmente en diversos estudios (Perrig y Kintsch, 1985; Schmalhofer y Glavanov, 1986) postula que, tras la lectura de un texto y para su comprensión, se construyen dos representaciones mentales diferentes denominadas Base del Texto (BT) y Modelo de la Situación (MS). La BT se elabora a partir de las proposiciones del texto y expresa su contenido semántico tanto a nivel global como local, y se elabora a partir de proposiciones. Esta representación refleja sobre todo las relaciones de coherencia interna entre las proposiciones, así como su organización. El MS se construye mediante la integración del contenido textual en los esquemas de conocimiento previo que el

lector ha desarrollado en sus experiencias anteriores con el Mundo, y puede incluir imágenes, contextos espacio-temporales, modelos analógicos de fenómenos, cadenas causales, etc. Naturalmente ambas representaciones no son independientes. De hecho, existen datos que apuntan que “la base del texto es un paso necesario hacia el modelo de la situación (van Dijk y Kinstch,1983, p.343; Vidal-Abarca y Sanjosé, 1998). Es decir, construir una adecuada BT es condición necesaria aunque no suficiente para la elaboración de un MS apropiado. Como puede verse, el MS es una representación mental comparable a la que Jhonson-Laird denomina modelo mental.

Usualmente la formación de la BT influye en el recuerdo de los sujetos lectores y puede ser evaluada mediante tareas de recuerdo libre. Sin embargo, el MS afecta a la capacidad de generalizar y transferir la información a nuevos contextos de aplicación. Por ello, el MS se evalúa con más eficacia por medio de tareas de alto nivel cognitivo como, por ejemplo, la resolución de problemas.

### 23. PROBLEMAS ALGORÍTMICOS Y CONCEPTUALES.

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 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. 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).

Hemos de tener en consideración que muchos estudiantes resuelven incorrectamente los problemas debido a las dificultades conceptuales subyacentes, a pesar de que pueden manipular las relaciones matemáticas de los mismos (Driver, 1988). No obstante, Lang de Silveira y colaboradores (1992) concluyen que el dominio de la parte conceptual del contenido de un problema es condición necesaria aunque no suficiente para que el estudiante resuelva certeramente los problemas.

### **3.MARCO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN : OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS.**

De las seis variables que influyen de manera crucial en la resolución de problemas vistas en el apartado 2.1, nuestro propósito es poner a prueba aquéllas que puedan tener mayor relevancia dentro de un contexto académico convencional, esto es, que tengan la posibilidad de entrar a formar parte de actividades de enseñanza/aprendizaje en el currículum. Así, por ejemplo, en una actividad donde se efectúa la evaluación inicial de los conocimientos de los alumnos, podemos medir la variable *conocimiento previo*. Por otra parte, tanto la captación de las ideas principales de un texto como el recuerdo de conceptos y relaciones entre ellos tras el estudio del mismo, que cabría reconocerlos del mismo modo como actividades de enseñanza/aprendizaje, nos permiten estimar las variables *estrategias de estudio* y *conocimiento conceptual*, respectivamente. Por tanto, **el primer objetivo del presente estudio es examinar la contribución a la resolución de problemas del *conocimiento previo*, las *estrategias de estudio* y el *conocimiento conceptual*. Nuestra primera hipótesis es que las tres variables están implicadas en el éxito de la resolución de problemas.** Es decir, que *conocimiento previo*, *estrategias de estudio* y *conocimiento conceptual* son predictores estadísticamente significativos del rendimiento en la resolución de problemas.

**El segundo objetivo es poner a prueba la teoría de modelos mentales de Jhonson-Laird y analizar el papel que desempeña el conocimiento previo en la construcción y puesta en funcionamiento de éstos.** A tenor de todo el bagaje teórico expuesto, nuestra **segunda hipótesis es que cuantos más modelos mentales se necesita hacer funcionar a la vez para resolver un problema, tanto más difícil será éste.** La tercera

**hipótesis se centra en el conocimiento previo de los sujetos: siempre los de mayor conocimiento previo tendrán más facilidad para resolver problemas, ya que disponen de estructuras de conocimiento-esquemas- que les ponen en condición de elaborar y ejecutar los modelos mentales necesarios en los procesos cognitivos que se llevan a cabo en la resolución del problema.**

**El tercer objetivo es analizar la influencia de distintas variables instruccionales sobre la formación de los modelos mentales de sujetos de diferente conocimiento previo, esto es, sobre el éxito en la resolución de problemas. La cuarta hipótesis, fundamentada en la teoría de Kintsch y Van Dijk, es que para ayudar a los estudiantes a elaborar modelos mentales adecuados para resolver problemas tenemos que proporcionarles una información coherente y que conecte con su conocimiento previo.**

**El cuarto objetivo es comparar las capacidades de los estudiantes en la resolución de problemas algorítmicos y conceptuales, y mostrar cómo pueden ser modificadas. La quinta hipótesis hace referencia a que cuando están implicados los mismos conceptos, saber resolver los algorítmicos no comporta saber resolver los conceptuales y, para saber solucionar estos últimos, es importante dominar los primeros. Finalmente, la sexta hipótesis concreta las variables instruccionales que facilitan la construcción de modelos mentales apropiados para resolver uno u otro tipo de problemas: los problemas algorítmicos –que implican únicamente aplicación de definiciones, fórmulas o reglas- no requieren para su resolución de elaboración de modelo mental alguno y, en consecuencia, no requieren de ayudas instruccionales específicas; en cambio, los problemas conceptuales-que demandan**

**comprensión y aplicación de conceptos y razonamiento inferencial- precisan de la aportación de información coherente y que encaje en los esquemas de conocimiento del alumno.**

## **4.METODOLOGÍA.**

Para contrastar las hipótesis enunciadas hemos diseñado dos experimentos. Ambos se llevaron a cabo a lo largo de dos cursos académicos (2001-2002 y 2002-2003). Las pruebas correspondientes al primer experimento se administraron al principio de los cursos (primera semana), y las del segundo experimento al final de los mismos (última semana). En el primer experimento se contrastaron las hipótesis primera, segunda, tercera y quinta. En el segundo, las restantes. Describiremos a continuación pormenorizadamente ambos experimentos.

### **4.1. EXPERIMENTO 1.**

#### **4.1.1.Sujetos**

Participaron en nuestra investigación un total de ochenta y cinco alumnos de primero de Bachillerato pertenecientes a un Instituto de Enseñanza Secundaria de la Comarca del Camp de Túria de Valencia. Cuarenta y tres de ellos estudiaban primero de bachillerato durante el curso académico 2001-2002. El resto lo hacían el curso siguiente (2002-2003). Todo este alumnado cursaba la asignatura de Física y Química, y solamente dos de ellos no tuvieron como optativa Física y Química en cuarto de E.S.O. En consecuencia, únicamente dos estudiantes no conocían del curso anterior el tema sobre el que versaban nuestros materiales: *Modelos Atómicos*.

#### 4.1.2.Materiales.

**Texto:** Para la elaboración del texto elegimos una parte de los contenidos de la Unidad Didáctica El átomo y sus enlaces, perteneciente al currículum de Física y Química de Primero de Bachillerato. En concreto, la parte que va desde las hipótesis atómicas de Dalton hasta el modelo de Rutherford y las partículas subatómicas (Modelos Atómicos): Modelo de Dalton, Electrones, Modelo de Thomson, Experiencia de Rutherford, Modelo de Rutherford, Núcleo Atómico, Protones, Ordenación de los Elementos, Experimento de Moseley, Número Atómico, Neutrones, Número Másico, Representación de los Átomos.

**Prueba de conocimiento previo:** Con esta prueba pretendíamos acceder a la estructura semántica de la memoria o estructura cognitiva de los sujetos. Es decir, intentábamos medir su conocimiento proposicional o conceptual del tema de *Modelos Atómicos*, en el momento de iniciar nuestra experiencia. Uno de los instrumentos más fructíferos cuando se pretende alcanzar el objetivo anterior es el mapa conceptual (Stewart, 1980; Novak y Gowin, 1999; Moreira y Buchweitz, 2000). No obstante, desde el punto de vista práctico, la tarea de elaborar mapas conceptuales requiere de un aprendizaje específico; y por otra parte, su análisis y evaluación precisa exige un laborioso y complicado trabajo para el evaluador, ya que se deben dar indicadores de integración y diferenciación de conceptos, así como de articulación de proposiciones (West y Pines, 1985).

Dadas las limitaciones que imponía nuestra investigación (no se podían emplear excesivas sesiones por la pérdida de clases convencionales que suponía para los

alumnos, se tenían que evitar medidas excesivamente farragosas por el elevado número de pruebas a corregir, etc.), decidimos utilizar una prueba que no necesitara adiestramiento previo, y que dejara a los estudiantes un margen de maniobra relativamente amplio en su ejecución. En la prueba empleada, una versión muy simplificada de la propuesta en el trabajo de Hegarty-Hazel y Prosser (1991), se proporcionó a los estudiantes una lista de quince conceptos, previamente escogidos por dos profesores de Física y Química (uno de ellos uno de los autores), tras un análisis pormenorizado de los contenidos del tema de *Modelos Atómicos* (Anexo I). Con estos conceptos, se pidió a los sujetos que escribieran de cinco a diez frases del tamaño que desearan y con los conceptos que estimasen convenientes, tanto si eran de la lista dada como si no.

Para la evaluación de la prueba, se confeccionó entre ambos profesores un mapa de asociación de conceptos (Anexo II) que contiene todas las relaciones posibles entre los quince conceptos (los denominados conceptos internos). Asimismo, entraron en la evaluación de la prueba, por su relevancia en la materia tratada, una lista de ocho conceptos que llamamos conceptos externos (Anexo I). El mapa de asociación de conceptos se utilizó para contabilizar las relaciones entre pares de conceptos internos (esto es, proposiciones) en los protocolos de los sujetos. Estas relaciones entraban en el cómputo si eran correctas y se ajustaban a alguna de las indicadas en el mapa de asociación, independientemente de la forma en que estuvieran escritas. Además, se contaron también los conceptos internos más los externos, siempre que estos últimos participaran en proposiciones correctas.

Partiendo de que ciertos investigadores (Novak, 1988b; Chi et al., 1981) apuntan que la diferencia entre expertos y novatos radica en que tienen más conceptos integrados en su estructura cognitiva, y en la extensión y calidad de sus vínculos proposicionales, es plausible admitir que el conocimiento previo ha de ser directamente proporcional, tanto al número de conceptos, como al número de relaciones entre ellos. Por tanto, un buen cuantificador de la prueba de conocimiento previo (C.P.) podría ser el producto del total de conceptos (externos más internos) y de relaciones entre ellos. Sin embargo, existe una alta correlación entre ellos, ya que el número de relaciones crece con el número de conceptos. Si suponemos que la dependencia entre el número de relaciones y el número de conceptos es lineal (si fuera de orden superior, el razonamiento valdría igualmente), entonces el producto de ambas medidas tiene una dependencia cuadrática con el número de conceptos. Esta dependencia cuadrática puede hacerse lineal tomando la raíz cuadrada del producto, en vez del producto directamente. En general, la raíz cuadrada mejora el efecto del producto al eliminar gran parte de los efectos acumulativos debidos a la correlación. En definitiva, pues, un cuantificador apropiado para esta prueba resulta ser la raíz cuadrada del producto de conceptos y relaciones para cada sujeto analizado:

$$C.P. = \sqrt{\text{conceptos} \times \text{relaciones}} \quad .$$

Una vez obtenidas estas medidas para todos los

sujetos, el valor representativo de grupo será la media aritmética de estas cantidades, así como su desviación típica. Los protocolos de conocimiento previo fueron corregidos separadamente por dos profesores de Física y Química (uno de ellos es uno de los autores), obteniendo un acuerdo del 92% y resolviendo las discrepancias de mutuo acuerdo.

**Prueba de captación de ideas principales:** Tras haber leído el texto sobre *Modelos Atómicos*, esta prueba fue empleada para cuantificar las estrategias de estudio de los sujetos. La calificación de la prueba requirió, en primer lugar, que dos profesores de Física y Química extrajeran las que pudieran ser las ideas principales del texto: fueron un total de nueve ideas las que tenían ese rango (Anexo III). En segundo lugar, se categorizaron las ideas de los protocolos de los estudiantes, observándose que seis de las nueve ideas (ideas 2, 4, 6, 7, 8 y 9) podían presentarse bien completas, tal y como las habíamos formulado en el anexo 2, bien incompletas. Finalmente, se puntuaron estas seis ideas presentes en los protocolos con un punto, si estaban incompletas, y con dos puntos, si estaban completas. La aparición de las tres ideas restantes (ideas 1,3 y 5 del anexo 2) en dichos protocolos se valoró con un punto. El acuerdo interjueces en la calificación de esta prueba fue del 87%.

**Prueba de recuerdo proposicional:** Mediante esta prueba deseábamos determinar el conocimiento proposicional o conceptual de los estudiantes después de haber leído el texto de *Modelos Atómicos* y extraído sus ideas principales. Esta prueba (postest) fue la misma que la que utilizamos en la medida del conocimiento previo (pretest). Obviamente, se siguieron los mismos criterios en la valoración del postest que en el pretest. El acuerdo interjueces de esta prueba fue del 91%.

**Prueba de resolución de problemas:** El propósito de esta prueba fue evaluar la capacidad de los sujetos para aplicar los conocimientos adquiridos a contextos o situaciones nuevas. Se trata, por consiguiente, de una medida del aprendizaje tras la modificación de los esquemas de conocimiento a partir de la conexión entre la nueva información y la que el sujeto tenía previamente (la prueba de captación de ideas

principales y la de recuerdo proposicional también evalúan aprendizaje, aunque de otro tipo). Elaboramos para esta prueba un cuestionario abierto de seis ítems sobre Modelos Atómicos (Anexo IV), tres de los cuales fueron de resolución de problemas, dos de tipo heurístico (ítems 4 y 5) y uno de tipo algorítmico (ítem 1), y los otros tres ítems fueron de inferencia textual (ítems 2, 3 y 6). La cuantificación de la prueba se efectuó mediante una categorización previa de las contestaciones de los alumnos, que condujo a una única categoría de respuesta correcta por ítem presentado, y una posterior valoración de la presencia/ausencia de la respuesta correcta como 1/0. El acuerdo interjueces fue del 96%.

#### 4.1.3.Procedimiento

Las cuatro pruebas fueron administradas al comienzo del curso académico y en el siguiente orden temporal: conocimiento previo, captación de ideas principales, recuerdo proposicional y resolución de problemas. Empleamos tres sesiones, dos de cincuenta minutos y una de veinte. La primera sesión se desarrolló en los últimos veinte minutos de una clase convencional y constó únicamente de la prueba de conocimiento previo. Al comienzo de la sesión, se avisó a los estudiantes de su participación en una investigación en el campo de la didáctica de las ciencias, y que las notas de las sucesivas pruebas se tendrían en cuenta en la evaluación trimestral del alumno. En la segunda sesión, de cincuenta minutos, los sujetos leyeron en primer lugar el texto sobre *Modelos Atómicos* durante veinticinco minutos. Después, se retiró el texto y se efectuó la prueba de recuerdo proposicional. Entre la lectura del texto y la prueba medió un lapso de cinco minutos donde los estudiantes llevaron a cabo tareas distractoras. La última sesión, de cincuenta minutos, se compuso de las pruebas de captación de ideas principales del texto y de resolución de problemas. En ambas pruebas los sujetos

dispusieron del texto para su consulta y tuvieron una duración de veinticinco minutos. En la prueba de captación de ideas principales se indicó a los estudiantes que formularan las ideas principales en forma de oración y que no copiaran títulos, temas o epígrafes del texto. En la prueba de resolución de problemas también dispusieron del texto para cualquier consulta que desearan efectuar.

#### 4.1.4. Resultados

En la Tabla 1 se ofrece la media aritmética y desviación estándar de las tres variables cognitivas y de la variable resolución de problemas.

**Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables en estudio.**

Nombre de la variable	Instrumento	Tipo de variable	Media aritmética	Desviación estándar	Máxima puntuación posible
Conocimiento Previo (CP)	Prueba de Conocimiento Proposicional (Pre-test)	Independiente o predictor (raíz del producto de conceptos y relaciones)	9,2	3,5	31,4
Estrategias de Estudio (EE)	Prueba de Captación de Ideas Principales	Independiente o predictor (número de ideas principales)	4,2	2,0	15
Conocimiento Conceptual (CC)	Prueba de Conocimiento Proposicional (Post-test)	Independiente o predictor (raíz del producto de conceptos y relaciones)	14,7	8,3	31,4
Resolución de Problemas (RP)	Prueba de Resolución de Problemas	Dependiente o criterio (respuesta correcta o incorrecta)	3,0	1,6	6

La Tabla 2 nos muestra la matriz de correlaciones producto-momento de Pearson de las distintas variables en estudio. Dicha matriz nos pone en evidencia que la variable criterio, resolución de problemas, está relacionada de manera estadísticamente significativa con el conocimiento previo ( $r = 0,30$ ,  $p < 0,01$ ), las estrategias de estudio ( $r = 0,38$ ,  $p < 0,01$ ) y el conocimiento conceptual ( $r = 0,43$ ,  $p < 0,01$ ). La única correlación estadísticamente significativa entre predictores se da entre las estrategias de estudio y el conocimiento conceptual ( $r = 0,29$ ,  $p < 0,01$ ).

**Tabla 2. Coeficientes de correlación producto-momento de Pearson.**

	Conocimiento Previo (CP)	Estrategias de Estudio (EE)	Conocimiento Conceptual(CC)	Resolución de Problemas (RP)
Conocimiento Previo (CP)	1,00	0,09	0,17	<b>0,30*</b>
Estrategias de Estudio (EE)		1,00	<b>0,29*</b>	<b>0,38*</b>
Conocimiento Conceptual(CC)			1,00	<b>0,43*</b>
Resolución de Problemas (RP)				1,00

\* estadísticamente significativo en un nivel inferior al 1% ( $p < 0.01$ )

Según esta tabla, la variable predictora más relacionada con la variable dependiente es el conocimiento conceptual, seguido de las estrategias de estudio y del conocimiento previo. Una vez comprobado que, en efecto, estas tres variables tienen una correlación significativa con la resolución de problemas, se llevó a cabo un análisis de regresión múltiple con Microsoft Excel. El cuadrado del coeficiente de correlación múltiple ( $R^2$ ) entre la variable criterio (resolución de problemas) y las tres variables independientes representa el porcentaje de varianza explicada de la variable dependiente por las tres variables predictoras. Este valor resultó ser 0,31, con un nivel de significación  $p < 0.01$ .

Ello nos indica que las tres variables independientes combinadas dan cuenta del 31% de la varianza de la puntuación en la resolución de problemas. El 69% restante debe ser explicado por otras variables no contempladas en este experimento y por la varianza del error. La Tabla 3 nos muestra los coeficientes de regresión de las tres variables independientes en la ecuación de regresión (coeficientes beta). Con estos valores se puede establecer que la relación lineal que buscamos entre las variables predictoras y la variable dependiente es:  $RP = 0,18 + 0,11CP + 0,22EE + 0,06CC$  (nótese que los coeficientes de cada predictor dependen del modo en que se miden las variables y no indican directamente la importancia predictora de cada una).

**Tabla 3. Coeficientes del análisis de regresión múltiple para la predicción del rendimiento en la resolución de problemas con su significación estadística**

	Coeficiente de Regresión ( $\beta$ )	Error típico	Prueba t	Nivel de significación (p)
Intersección	0,18			
CP	0,11	0,04	2,75	< 0,01
EE	0,22	0,08	2,75	< 0,01
CC	0,06	0,02	3,00	< 0,01

Para poder diferenciar la contribución de cada variable predictora y su importancia, realizamos un segundo análisis de regresión, pero esta vez paso a paso (*stepwise*). En este tipo de regresión, las variables predictoras se introducen una a una en orden de importancia (ver correlación de Pearson con la variable dependiente RP, Tabla 2). En cada nuevo paso se incluye una nueva variable y, además, se reconsidera el mantener las que ya se había añadido previamente, o sacarlas de la ecuación. Esto es debido a que las variables predictoras pueden tener correlación entre sí, de modo que lo que una variable aporta, podría ya estar recogido por otra de las variables, con lo cual la primera sobraría.

La Tabla 4 muestra los resultados de este análisis de regresión *stepwise*, en el que hemos seleccionado las variables independientes que se incluyen en la ecuación de regresión que proporciona el rendimiento en la resolución de problemas (variable criterio), en orden de importancia. El conocimiento conceptual se seleccionó en el primer paso. Las estrategias de estudio y el conocimiento previo se incluyeron en el segundo y tercer paso, respectivamente. Como puede verse en la Tabla 4, el  $R^2$  pasa de 0,18, cuando sólo se introduce el conocimiento conceptual, a 0,26, cuando entran en la ecuación conocimiento conceptual y estrategias de estudio. Finalmente, la adición de la variable conocimiento previo conduce a un incremento en el valor global de  $R^2$  de 0,05.

**Tabla 4. Resultados del análisis de regresión *stepwise* para la predicción del rendimiento en la resolución de problemas.**

Número del Paso	Variable de entrada	$R^2$ (cuadrado del coeficiente de correlación múltiple)	Prueba F	Nivel de significación (p)
Paso 1	Conocimiento Conceptual(CC)	0,18	18,82	< 0,01
Paso 2	Estrategias de Estudio (EE)	0,26	14,30	< 0,01
Paso 3	Conocimiento Previo (CP)	0,31	11,95	< 0,01

A partir de estos resultados de la prueba de conocimiento previo, clasificamos a los estudiantes en dos grupos: conocimiento previo alto y bajo. Los primeros, un total de 43 sujetos, fueron aquellos que obtuvieron una puntuación igual o superior a 9,2 en la prueba sujetos. En el segundo, de 42 sujetos, los alumnos no alcanzaron dicha puntuación.

La Figura 1 nos da el porcentaje de sujetos que responde correctamente en cada ítem.

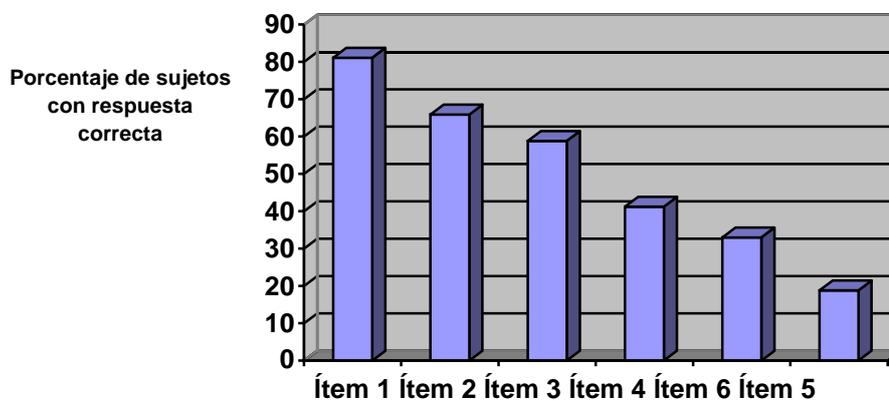


Figura 1. Porcentaje de sujetos que responde correctamente en cada uno de los ítems.

La Figura 2 nos proporciona el porcentaje de sujetos que contesta apropiadamente en cada ítem, según su conocimiento previo.

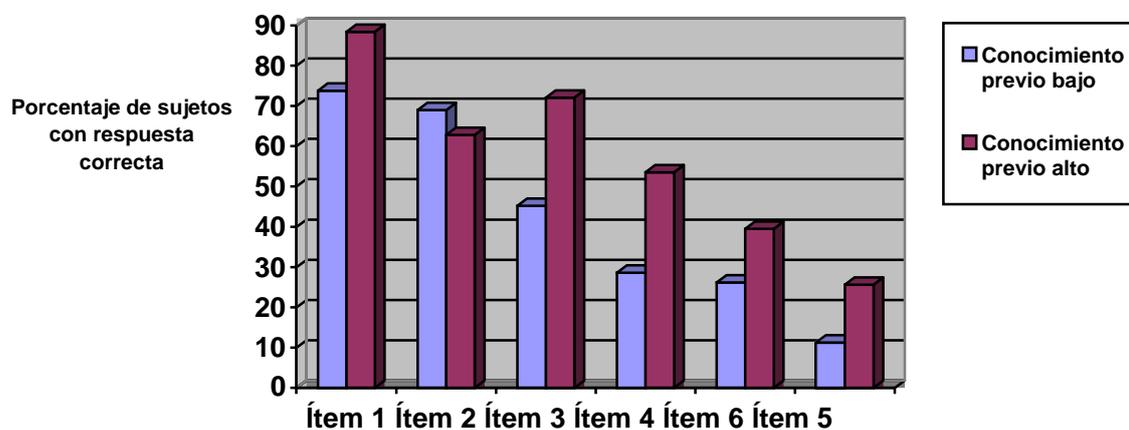


Figura 2. Porcentaje de sujetos que responde correctamente en cada uno de los ítems, según su conocimiento previo.

La Figura 3 nos muestra la relación *número de sujetos de conocimiento previo alto/ número de sujetos de conocimiento previo bajo*, para los sujetos que responden bien cada ítem.

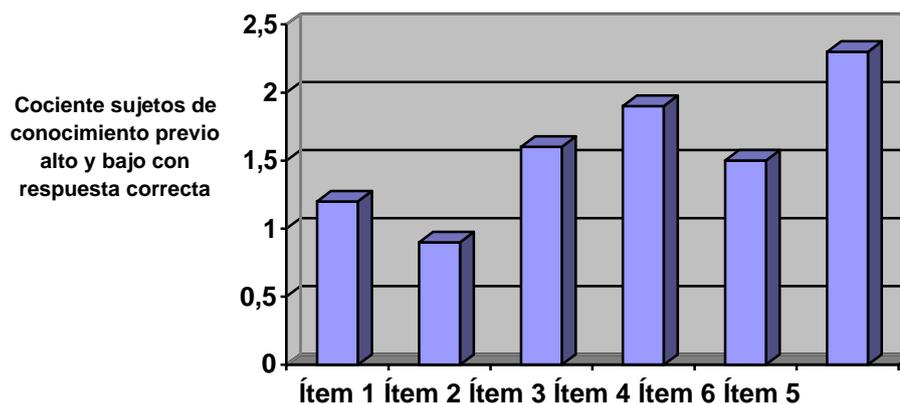


Figura 3. Cociente entre el número de sujetos de conocimiento previo alto y bajo que responde correctamente cada uno de los ítems.

La aplicación de la prueba *chi cuadrado* a los grupos de bajo y alto conocimiento previo en cada ítem -a partir de las tablas de contingencia 2x2 construidas con los sujetos de conocimiento previo bajo y alto que aciertan o yerran en el ítem- sólo genera diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los ítems 3 y 4. En concreto, da los siguientes valores: en el ítem 3,  $\chi^2 = 6,33$ , g.l.= 1,  $p < 0.05$ ; y en el ítem 4,  $\chi^2 = 5,45$ , g.l.=1,  $p < 0.05$ . Consecuentemente, sólo en estos dos ítems la variable conocimiento previo discrimina entre individuos en relación a su éxito en la resolución de esos problemas.

Por otra parte, la Tabla 5 clasifica a los sujetos según su puntuación (0 o 1) en los ítems 1 (algorítmico) y 6 (conceptual), en los que se ven implicados los mismos conceptos.

	<b>Puntuación 0 Ítem Conceptual</b>	<b>Puntuación 1 Ítem Conceptual</b>
<b>Puntuación 0 Ítem Algorítmico</b>	16	1
<b>Puntuación 1 Ítem Algorítmico</b>	41	27

Tabla 5. Frecuencias de puntuaciones 0 y 1 en los ítems 1 (algorítmico) y 6 (conceptual).

A partir de esta tabla de contingencia se pone de manifiesto:

- Diferencias estadísticamente significativas en el éxito de los estudiantes en ambos ítems mediante la aplicación de la prueba *chi* cuadrado ( $\chi^2= 7.04$ , g.l.=1,  $p<.01$ ).
- La mayor dificultad del ítem conceptual respecto del algorítmico (índice de facilidad del algorítmico 0.80 e índice de facilidad del conceptual 0.33).
- Que el 96.4% de los sujetos que responden correctamente al ítem 6 responden bien el ítem 1, en cambio, sólo el 39.7% de los que responden correctamente el ítem 1 hacen lo propio en el ítem 6.

#### 4.1.5. Discusión

Los tres tipos de análisis estadísticos nos han mostrado que conocimiento previo, estrategias de estudio y conocimiento conceptual están implicados en el éxito de la resolución de problemas. En concreto, los datos de la Tabla 3 nos indican que conocimiento previo, estrategias de estudio y conocimiento conceptual son predictores estadísticamente significativos del rendimiento en la resolución de problemas, en total acuerdo con los resultados obtenidos por distintos investigadores y que hemos citado en la introducción. Sin embargo, aunque estos resultados ponen de manifiesto relaciones entre las variables designadas como predictores y el rendimiento en la resolución de problemas, dado el diseño experimental utilizado, no es posible afirmar que la variación en uno o más predictores sea la causa de la variación en el rendimiento de la resolución de problemas.

De los resultados derivados del análisis de correlación de Pearson (Tabla 2) y del análisis de regresión paso a paso (*stepwise*, ver Tabla 4), se desprende que el conocimiento conceptual puede tener una mayor influencia que las estrategias de estudio sobre la resolución de problemas, y a su vez éstas mayor influencia que el conocimiento previo. No obstante, la contribución de las estrategias de estudio a la resolución de problemas podría ser menor que la sugerida por el análisis de regresión *stepwise* a causa de la considerable correlación entre conocimiento conceptual y estrategias de estudio ( $r = 0,29$ ,  $p < 0,01$ ) (Kerlinger y Pedhazur, 1973).

Se destaca pues el relevante papel de la variable conocimiento conceptual en la resolución de problemas: es el predictor de mayor peso estadístico. Esta relación

encontrada entre conocimiento conceptual y resolución de problemas es congruente con los estudios mencionados en la introducción ( Dawson 1993; Enswistle y Ramsden, 1983; Kempa, 1991 y Novak, 1988a), en los que se resalta la importancia de la cantidad de conceptos y estructuras proposicionales para abordar con eficacia la resolución de problemas. Asimismo, concuerda con las investigaciones de Ferguson-Hessler y de Jong (de Jong y Ferguson-Hessler, 1986; Ferguson-Hessler y de Jong, 1987) y las de Chi y colaboradores (Chi et al., 1981; Chi et al., 1982), que han mostrado que los esquemas de conocimiento instalados en la memoria a largo plazo de los sujetos expertos están mejor organizados y estructurados, y contienen más conceptos; y con las de Lang de Silveira y colaboradores (Lang de Silveira et al., 1992a y 1992b) donde se señala que el dominio de los conceptos es una condición *sine qua non* para poder aplicarlos correctamente en la resolución de problemas.

En la Tabla 2 son patentes además la escasa correlación entre el conocimiento conceptual adquirido tras la instrucción y el conocimiento previo, y la todavía más baja correlación entre estrategias de estudio y conocimiento previo. Ambos casos entran en contradicción con el trabajo de Hegarty-Hazel y Prosser (1991), donde las correlaciones encontradas son elevadas, aunque es necesario indicar que las variables implicadas no han sido medidas de la misma forma.

En relación con el porcentaje de la varianza del rendimiento en la resolución de problemas que puede ser predicha a partir de las tres variables independientes puestas en juego en el presente estudio (31%), señalar que es: similar al hallado por Lawson (1983) (31,8%, con cinco variables independientes: nivel de desarrollo cognitivo, habilidad para distinguir la información relevante, memoria a corto plazo, conocimiento

previo y creencia); mayor que el de Chandran et al. (1987) (19%, con cuatro variables independientes: capacidad de razonamiento formal, conocimiento previo, habilidad para distinguir la información relevante y memoria a corto plazo) e inferior que los de Zeitoun (1989) (63%, con tres variables independientes: conocimiento previo, capacidad de razonamiento formal y género) y Lee et al. (2001) (48%, con cinco variables independientes: conocimiento específico, conocimiento relevante no específico, conexión de conceptos, asociación de ideas y habilidad en la interpretación del problema).

Esta diversidad y disparidad de resultados experimentales pone de relieve la complejidad de los sistemas humanos de pensamiento. En todos los casos la varianza no explicada por las variables predictoras puestas en juego es grande si se compara con los sistemas físicoquímicos. ¿Es posible predecir el rendimiento de nuestros alumnos en la resolución de problemas?. Según los resultados de los experimentos, incluido el presente, la respuesta es que sí, dentro de los límites predictivos encontrados.

La Figura 1 constata que cuantos más modelos mentales se han de ejecutar tanto más difícil es un problema –menor porcentaje de sujetos lo resuelven bien-. Así el Ítem 1, que ni siquiera requiere de un modelo mental para ser resuelto (Ver Tabla 6), tan sólo una representación proposicional, registra un elevado porcentaje de éxito (81,1%). Los Ítems 2,3 y 4 (porcentajes de éxito 65,9%, 58,8% y 41,2%, respectivamente) necesitan en su resolución ejecutar, como mínimo, de 2 a 3 modelos mentales (Ver Tabla 6) . Finalmente, los Ítems 5 y 6 ( porcentajes de éxito 18,8% y 33%, respectivamente). precisan tener en funcionamiento un mínimo de cuatro modelos mentales ( Ver Tabla 6).

Ítem	Contenido Conceptual	Modelos Mentales
1	-En átomos neutros el número atómico (subíndice) es igual al número de protones y al de electrones -El número másico (suparíndice) es igual al número de protones más el de neutrones.	-No son necesarios, basta con recordar la definición de número atómico y másico, y la representación de un isótopo (átomo).
2	-Los protones se concentran en el núcleo atómico. -La lámina de oro de la experiencia de Rutherford está constituida por una red de átomos de oro. -Las partículas cargadas del mismo signo se repelen. -Cuando una partícula cargada en movimiento pasa próxima a otra partícula cargada del mismo signo desvía su trayectoria. -La experiencia de Rutherford consiste en lanzar partículas cargadas positivamente contra una fina lámina de oro.	-Modelo atómico de Rutherford: protones concentrados en el núcleo junto con los neutrones y electrones moviéndose alrededor. -Modelo de interacción entre cargas. -Modelo de la experiencia de Rutherford.
3	-Los protones se concentran en el núcleo atómico. -Los electrones se mueven alrededor del núcleo en un gran espacio vacío. -Los protones son difícilmente accesibles. -Los electrones son fácilmente accesibles.	-Modelo atómico de Rutherford. -Modelo de cómo arrancar o añadir electrones o protones al átomo.
4	Ídem Ítem 2	-Modelo atómico de Rutherford: protones concentrados en el núcleo junto con los neutrones y electrones moviéndose alrededor. -Modelo de interacción entre cargas. -Modelo de la experiencia de Rutherford.
5	Ídem Ítem 4, más: -La carga eléctrica por frotamiento se adquiere porque se ganan o se pierden las partículas más externas de los átomos: los electrones.	Ídem Ítem 4, más: -Modelo de adquisición de carga por frotamiento.
6	-El número de protones o número atómico identifica a los átomos de un mismo elemento químico. -El número de electrones de un átomo no siempre es el mismo: depende de si ha ganado o perdido. -El número de neutrones puede ser diferente para átomos de un mismo elemento químico. -Isótopos son átomos de un mismo elemento con diferente número de neutrones	-Modelo de elemento químico. -Modelo de isótopo -Modelo atómico de Rutherford. -Modelo de adquisición de carga (por ganancia o pérdida de electrones)

Tabla 6. Contenido conceptual de cada ítem y modelos mentales que se han de utilizar, como mínimo, en cada uno de ellos.

Como puede verse, y en completo acuerdo con los presupuestos de la teoría de modelos (Jhonson-Laird y Bara, 1984) y nuestra primera hipótesis, existe una relación de proporcionalidad inversa casi perfecta entre el número mínimo de modelos implicados en la resolución de un problema y el porcentaje de estudiantes que lo resuelven

correctamente: a mayor cantidad de modelos mentales en funcionamiento menor porcentaje de sujetos con resolución acertada. Como es obvio, la existencia de algún ítem cuyos resultados se desvían de esta tendencia es atribuible a factores no controlados en el experimento o a la necesidad de los alumnos de algún otro modelo mental que se nos escapa. Así, el Ítem 3 resulta más difícil que el Ítem 2, cuando en principio requiere de menor número de modelos mentales. Este caso podría explicarse a partir del hecho de que en el texto que leyeron los estudiantes se recogía de manera explícita la información que da respuesta al Ítem 2, lo que les permitiría reducir el número de modelos mentales a utilizar.

Por su parte las Figuras 2 y 3 parecen sugerirnos que a medida que aumenta la dificultad de un problema la influencia del conocimiento previo en su resolución es tanto más notable. Esto es, a mayor conocimiento previo mayor probabilidad de resolver correctamente de problemas difíciles. Sin embargo, la prueba estadística *chi cuadrado* nos advierte de que la variable conocimiento previo únicamente genera diferencias significativas entre sujetos de diferente conocimiento previo cuando los problemas no son ni muy fáciles ni muy difíciles. Es decir, sólo cuando se resuelven problemas en los que se ejecutan pocos modelos mentales – de dos a tres, como mínimo- el conocimiento previo de los sujetos discrimina a la hora de resolverlos con éxito. Por consiguiente, este resultado obtenido matiza nuestra segunda hipótesis y delimita claramente el papel del conocimiento previo en la resolución de problemas.

Finalmente, analizaremos los problemas en los que el conocimiento previo no es decisivo para resolverlos acertadamente. El Ítem 1, que es un problema algorítmico y no requiere para su resolución de elaboración de modelo mental alguno, puede ser resuelto

simplemente a partir de una representación mental proposicional, lo que justificaría el elevado número de estudiantes que lo hacen bien, y la escasa influencia del conocimiento previo. Por el contrario, los Ítems 5 y 6 –los más difíciles y de carácter conceptual- exigen tener en funcionamiento como mínimo cuatro modelos mentales para su resolución y, dadas las limitaciones de capacidad de procesamiento en la memoria de trabajo, puede que la demanda de memoria de trabajo supere en la mayoría de los casos la capacidad de procesamiento de la misma (Johnston y El-Banna, 1986; Johnston et al., 1993; Níaz, 1987). Esto hecho podría explicar que la mayoría de los estudiantes participantes en este estudio, independientemente de su conocimiento previo, fracasasen en la resolución de los Ítems 5 y 6 de la prueba de resolución de problemas: son incapaces de procesar simultáneamente toda la información necesaria para mantener a la vez tantos modelos mentales en ejecución.

En relación con los problemas algorítmicos y conceptuales, de acuerdo con la Tabla 5 y la correspondiente prueba *chi* cuadrado, concluimos que cuando están implicados los mismos conceptos, saber resolver los algorítmicos no comporta saber resolver los conceptuales y para saber solucionar estos últimos es importante dominar los primeros. Esto es, los resultados indican que el conocimiento procedimental del algoritmo es condición necesaria aunque no suficiente para la apropiada comprensión y aplicación de los conceptos. Todo ello está en completa consonancia con las conclusiones obtenidas en problemas de Química por Gabel y Bunce (1994) y por Nurrembern y Pickering (1987), y estas últimas replicadas con posterioridad por Sawrey (1990) y Nakhleh y Mithell (1993). Lo mismo podemos decir, en el caso de problemas de Física, de los trabajos de Hellman (1989) y Mazur (1996).

## 4.2. EXPERIMENTO 2.

### 4.2.2. Sujetos

Participaron en nuestra investigación un total de ochenta y cinco alumnos de primero de Bachillerato pertenecientes a un centro público de Educación Secundaria de la comarca del Camp de Túria (València). Cuarenta y tres de ellos estudiaban primero de Bachillerato durante el curso académico 2001-2002. El resto lo hacían el curso siguiente (2002-2003). Todo este alumnado cursaba la asignatura de Física y Química, y solamente dos de ellos no tuvo como optativa Física y Química en el curso anterior.

### 4.2.3. Materiales

**Textos:** Para la elaboración de los textos elegimos una parte de los contenidos de la Unidad Didáctica “*El átomo y sus enlaces*”, perteneciente al currículum de Física y Química de Primero de Bachillerato. En concreto, la parte que va desde las hipótesis atómicas de Dalton hasta el modelo de Rutherford y las partículas subatómicas (Modelos Atómicos): Modelo de Dalton, Electrones, Modelo de Thomson, Experiencia de Rutherford, Modelo de Rutherford, Núcleo Atómico, Protones, Ordenación de los Elementos, Experimento de Moseley, Número Atómico, Neutrones, Número Másico, Representación de los Átomos.

Se construyeron cuatro versiones textuales a partir de un contenido común: Texto A, o texto control; Texto B, un texto manipulado que incluye variables que, por hipótesis, ayudan a la formación de la Base de Texto; Texto C, que incluye variables que, por hipótesis, facilitan la elaboración de un Modelo de Situación y; Texto D, que recoge a la vez las variables de los Textos B y C. Las variables manipuladas han sido puestas a

prueba en una experiencia anterior (Vidal-Abarca y Sanjosé, 1998). En el Anexo V e presenta una misma parte del texto en las cuatro versiones.

Tomando como base el Texto A, las variables textuales incluidas en los Textos B y D son las siguientes:

- Partir de los principios conceptuales, situándolos al comienzo del texto, apartados o párrafos.
- Buscar una secuencia de ideas apropiada para el estudiante.
- Añadir resúmenes con la información más importante y frases introductorias que anuncien el contenido
- Dar a conocer los distintos temas tratados en títulos o encabezamientos bien colocados.
- Destacar las ideas principales contenidas en el texto mediante tipos en negrita.
- Emplear partículas o expresiones que dirijan la atención del lector y le permitan interconectar mejor los conceptos.
- Ser redundante en las ideas clave o problemáticas.
- Utilizar párrafos diferentes para unidades de información distintas.
- Eliminar ideas poco relevantes para el contenido tratado.

Las variables textuales introducidas en los textos C y D son:

- Introducir la materia a partir de los que le lector ya sabe.
- Establecer relaciones explícitas entre ideas de tal manera que se reduzcan las inferencias que el lector tiene que realizar.
- Presentar el contenido en forma de pregunta/respuesta.

- Poner énfasis en los conceptos que contradigan las previsible concepciones espontáneas del lector.
- Incluir analogías y ejemplos que relacionen la información textual con el mundo real del lector.

**Prueba de conocimiento previo.** Es la misma que en el experimento 1.

**Prueba de resolución de problemas:** Se utilizó una prueba idéntica a la del experimento 1.

#### **4.2.4.Procedimiento**

Empleamos dos sesiones. La primera de unos treinta minutos y la segunda de cincuenta y cinco minutos. En la primera sesión, se avisó a los estudiantes de su participación en una investigación en el campo de la didáctica de las ciencias, y se llevó a cabo la prueba de conocimiento previo. En la segunda sesión, los cuatro textos fueron distribuidos aleatoriamente entre los sujetos participantes. A continuación, los estudiantes leyeron el texto correspondiente durante veintidós minutos. Después, se retiró el texto y se efectuó la prueba de resolución de problemas (alrededor de veinte minutos). Entre la lectura del texto y la prueba medió un lapso de tres minutos donde los estudiantes llevaron a cabo tareas distractoras. El tiempo fue suficiente para todos ellos. La Tabla 7 muestra el números de sujetos que leyó cada una de las versiones

	<b>Texto A</b>	<b>Texto B</b>	<b>Texto C</b>	<b>Texto D</b>
<b>Nº de Sujetos</b>	18	21	21	25

Tabla 7. Número de sujetos que leyó cada una de las cuatro versiones textuales.

#### 4.2.5.Resultados

En la Tabla 8 se ofrece la media aritmética y desviación estándar de la variable cognitiva conocimiento previo.

<b>Nombre de la variable</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Media aritmética</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Máxima puntuación posible</b>
Conocimiento Previo (CP)	Prueba de Conocimiento Proposicional	Independiente (raíz del producto de conceptos y relaciones)	9,3	3,4	31,4

Tabla 8. Estadística descriptiva de la variable conocimiento previo.

A partir de estos resultados de la prueba de conocimiento previo, clasificamos a los estudiantes en dos grupos: CP alto y CP bajo. Los primeros, un total de 43 sujetos, fueron aquellos que obtuvieron una puntuación igual o superior a 9,3 en la prueba sujetos. En el segundo, de 42 sujetos, los alumnos no alcanzaron dicha puntuación. En la tabla 9 aparecen los sujetos que leyeron cada una de las cuatro versiones textuales, según su conocimiento previo.

	<b>Texto A</b>	<b>Texto B</b>	<b>Texto C</b>	<b>Texto D</b>
<b>CP bajo</b>	9	12	11	10
<b>CP alto</b>	9	9	10	15

Tabla 9. Número de sujetos que leyó cada una de las cuatro versiones textuales en función de su conocimiento previo.

La Figura 4 nos ofrece la puntuación media obtenida por cada uno de los cuatro grupos de sujetos de conocimiento previo bajo en la Prueba de Resolución de Problemas.

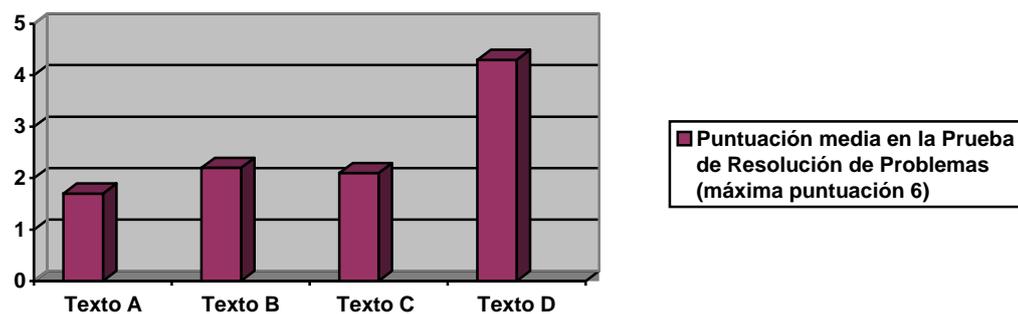


Figura 4. Puntuación media obtenida en la Prueba de Resolución de Problemas por los estudiantes de conocimiento previo bajo, según el texto leído.

Como puede verse, la puntuación de los grupos de conocimiento previo bajo sigue el orden: Texto D (4.3) > Texto B (2.2) > Texto C (2.1) > Text A (1.7). Un análisis de varianza sobre los datos de cada uno de alumnos revela diferencias significativas entre grupos en la resolución de problemas:  $F(3,38) = 8.69$ ,  $MC_e$  (media cuadrática entre grupos) = 13.91,  $p < 0.01$ . Además, un contraste posterior con el test de Scheffé señala que dichas diferencias se dan entre el grupo que lee el texto D y el resto de grupos, esto

es, el grupo Texto D puntúa de manera estadísticamente significativa más alto que los grupos Texto A , B y C ( $p < 0.01$ ).

La Figura 5 presenta los resultados conseguidos en la Prueba de Resolución de Problemas por los distintos grupos de alumnos de conocimiento previo alto.

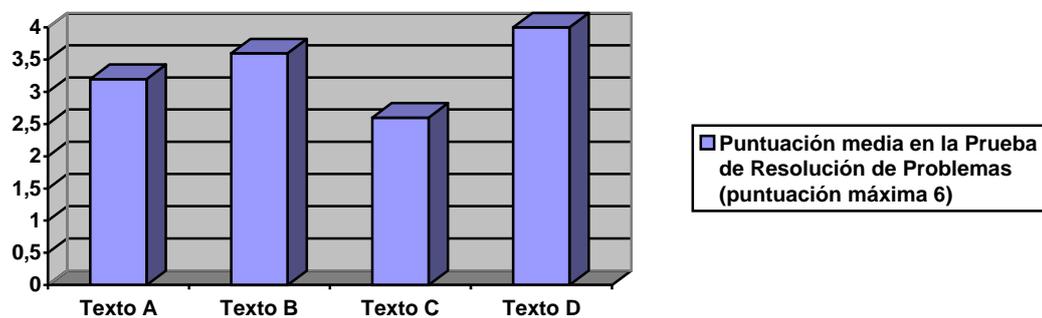


Figura 5. Puntuación media obtenida en la Prueba de Resolución de Problemas por los estudiantes de conocimiento previo, según el texto leído.

Podemos observar en la Figura 5 el siguiente orden de puntuación en los grupos de conocimiento previo alto: Texto D (4.0) > Texto B (3.6) > Texto A (3.2) > Texto C (2.6). La aplicación de un análisis de varianza sobre los datos de cada uno de los alumnos da como resultado que no hay diferencias significativas entre grupos en la resolución de problemas:  $F(3,39) = 1.77$ ,  $MC_e = 4.10$ ,  $p > 0.05$ .

La Figura 6 muestra el porcentaje de sujetos de cada grupo que ha respondido correctamente al Ítem 1 (algorítmico).

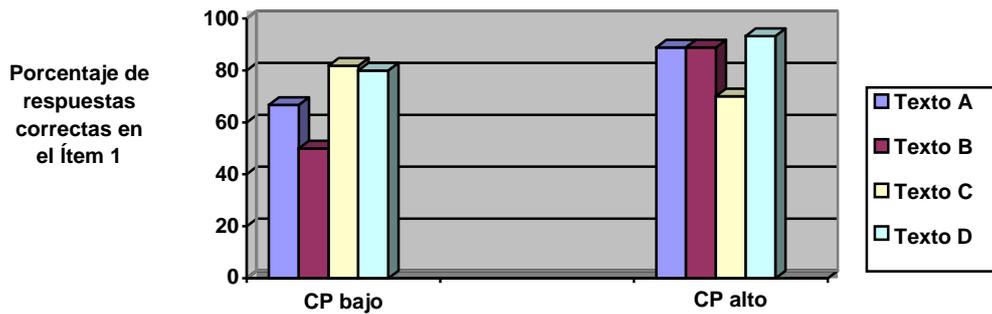


Figura 6. Porcentaje de respuestas correctas en el Ítem 1 de la Prueba de Resolución de Problemas de los estudiantes de conocimiento previo bajo y alto, según el texto leído

La aplicación de la prueba *chi* cuadrado a los grupos de bajo y alto conocimiento previo da los siguientes valores:  $\chi^2 = 3.47$ , g.l = 3,  $p > 0.05$  y  $\chi^2 = 2.91$ , g.l = 3,  $p > 0.05$ , respectivamente. Esto es, leer un texto u otro no produce diferencias significativas ni en unos ni en otros a la hora de resolver el ítem algorítmico.

En la Figura 7 aparece el porcentaje de sujetos de cada grupo que ha respondido correctamente al Ítem 6 (conceptual).

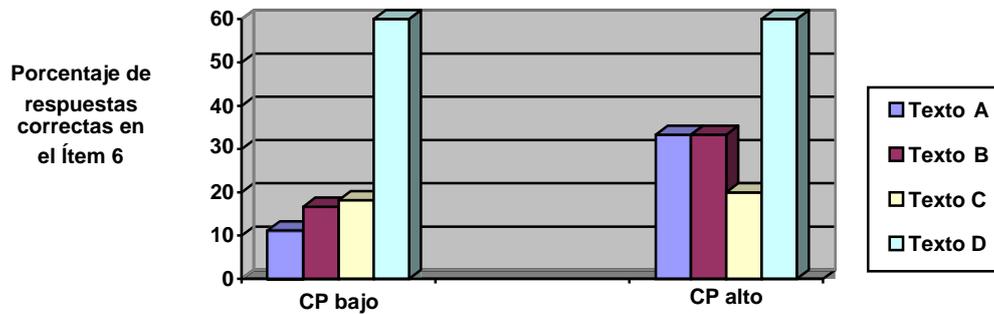


Figura 7. Porcentaje de respuestas correctas en el Ítem 6 de la Prueba de Resolución de Problemas de los estudiantes de conocimiento previo bajo y alto, según el texto leído

La prueba *chi* cuadrado en los grupos de bajo y alto conocimiento previo da los siguientes valores: en los primeros,  $\chi^2=7.89$ , g.l.=3,  $p<.05$ ; y en los segundos,  $\chi^2=4.51$ , g.l.=3,  $p>0.05$ . En consecuencia, leer un texto u otro no produce diferencias significativas en los sujetos de alto conocimiento previo cuando resuelven problemas conceptuales. Sin embargo, sí que se observan diferencias significativas en los de bajo conocimiento previo: los estudiantes que leyeron el texto D responden significativamente mejor este ítem.

A continuación nos centraremos en el Ítem de la Prueba de Resolución de Problemas que ha resultado ser el más difícil: el Ítem 5. Este Ítem, de carácter conceptual y heurístico, tan sólo lo han contestado correctamente el 19% del total de estudiantes. La Figura 8 presenta el porcentaje su sujetos de cada grupo que ha respondido correctamente el Ítem 5.

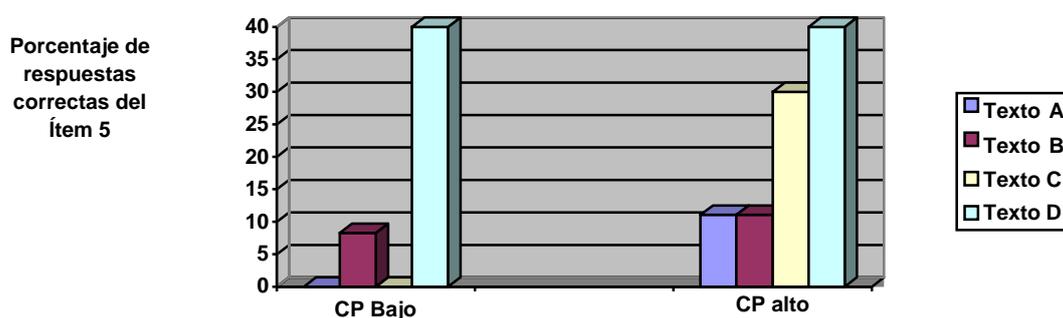


Figura 8. Porcentaje de respuestas correctas en el Ítem 5 de la Prueba de Resolución de Problemas de los estudiantes de conocimiento previo bajo y alto, según el texto leído

En relación con este Ítem 5, hemos de señalar que la prueba *chi* cuadrado solamente da diferencias significativas entre grupos de bajo conocimiento previo:  $\chi^2 = 10.38$ , g.l = 3,  $p < 0.05$ . Nuevamente destacan los estudiantes que han leído el texto D.

#### 4.2.6. Discusión.

En primer lugar, comenzaremos por subrayar el papel decisivo del conocimiento previo en la resolución de problemas: siempre puntúan más alto, en promedio, los estudiantes de mayor conocimiento previo Este hecho, ya lo habíamos constatado en el experimento 1 de este trabajo. Dicha variable resulta ser un predictor estadísticamente significativo del rendimiento en la resolución de problemas

En relación con los resultados globales obtenidos en la prueba, reflejados en las Figuras 4 y 5, así como en las pruebas estadísticas realizadas, se deduce que las variables instruccionales contenidas en los textos afectan, en la resolución de problemas, mucho más a los sujetos de conocimiento previo bajo. Los de conocimiento previo alto se ven menos influidos por dichas variables. En cualquier caso, se necesita la concurrencia de las variables instruccionales puestas en juego en el Texto D para lograr efectos significativos en la resolución de problemas. Esto es, para ayudar a los estudiantes, sobre todo a los de menor conocimiento previo, a elaborar modelos mentales adecuados para resolver problemas tenemos que proporcionarles una información coherente y que conecte con su conocimiento previo. Estos resultados son, en cierto modo, congruentes con los de Hegarty-Hazel y Prosser (1991) que constatan que los estudiantes que hacen uso de *estrategias de estudio* en las que se intenta dar estructura y organización a la nueva información, además de relacionarla con lo que ya saben, generan un mejor conocimiento proposicional o conceptual y resuelven mejor los problemas. También son acordes con los de Ferguson-Hessler y de Jong (1990), quienes señalan que los alumnos que mejor resuelven los problemas son aquellos que procesan la información textual con más profundidad, esto es, los que son capaces de *integrar los diversos contenidos y obtener un significado global del texto* (Ferguson-Hessler y de Jong, 1990).

Por otra parte, queremos destacar el papel de las variables instruccionales en la resolución de problemas algorítmicos y conceptuales. Las Figuras 6 y 7 junto a la prueba *chi* cuadrado ponen de manifiesto que sólo el Texto D es capaz de incrementar significativamente el número de estudiantes de bajo conocimiento previo que resuelven bien los problemas conceptuales. En el caso de los sujetos de alto conocimiento previo

el incremento es notorio en dichos problemas, si bien no genera diferencias estadísticamente significativas con el resto de grupos. Señalar, por último, que no se mejora de manera significativa el resultado en los algorítmicos en ningún caso, con porcentajes elevados de sujetos que responden correctamente. Así pues, parece que sólo el Texto D proporciona los elementos necesarios para la resolución de problemas conceptuales. Es decir, sólo dicho texto contiene las variables instruccionales que facilitan la construcción de modelos mentales apropiados para resolver problemas que demandan comprensión y aplicación de conceptos y razonamiento inferencial. En cuanto a los problemas algorítmicos –que implican únicamente aplicación de definiciones, fórmulas o reglas- no requieren para su resolución de elaboración de modelo mental alguno, pueden ser resueltos simplemente a partir de una representación mental proposicional, lo que justifica el elevado número de estudiantes que lo hacen bien, sin necesidad de ayudas instruccionales específicas.

Finalmente, analizaremos los resultados obtenidos en el Ítem 5 de la Prueba de Resolución de Problemas. Dicho Ítem, como ya hemos dicho, ha resultado ser el más difícil y, como puede colegirse de la Figura 8 y de la correspondiente prueba *chi* cuadrado, es donde más se notan los efectos de la variable conocimiento previo y las variables instruccionales. Su mayor dificultad podría explicarse teniendo en consideración que el ítem 5 exige tener en funcionamiento como mínimo cuatro modelos mentales para su solución (Ver Tabla 6) y, dadas las limitaciones de capacidad de procesamiento en la memoria de trabajo, puede que la demanda de memoria de trabajo supere en la mayoría de los casos la capacidad de procesamiento de la misma (Johnston y El-Banna, 1986; Johnston et al., 1993; Níaz, 1987). De acuerdo con la teoría de modelos mentales, el número de modelos en funcionamiento explica por qué

algunos problemas son más difíciles que otros, y el porqué de determinadas respuestas erróneas en problemas de múltiples modelos (Johnson-Laird y Bara, 1984). Por otra parte, la eficacia de la memoria a corto plazo aumenta con la cantidad y calidad de las estructuras cognitivas (Novak, 1991). Es decir, cuanto mayor sea el grado de organización y estructuración de los conocimientos en la memoria a largo plazo, tanto menor será el número de unidades o trozos de información de la memoria a corto plazo que se tienen que utilizar y, en consecuencia, mayor probabilidad de resolver los problemas con éxito (Neto, 1991). Esto justificaría la influencia decisiva de la variable conocimiento previo en este ítem. En cuanto al papel de las variables instruccionales, parece que nuevamente el conjunto de las mismas incluidas en el texto D es el que tiene un efecto significativo sobre los estudiantes en la resolución del ítem. De donde podría concluirse que este conjunto de variables instruccionales contribuye de manera crucial a poner en funcionamiento los oportunos los modelos mentales.

## 5. CONCLUSIONES.

Los tres tipos de análisis estadísticos efectuados en el experimento 1 nos han mostrado que conocimiento previo, estrategias de estudio y conocimiento conceptual están implicados en el éxito de la resolución de problemas. En concreto, nos indican que **conocimiento previo, estrategias de estudio y conocimiento conceptual son predictores estadísticamente significativos del rendimiento en la resolución de problemas**. En consecuencia, queda confirmada nuestra primera hipótesis. Además, se destaca el relevante papel de la variable conocimiento conceptual en la resolución de problemas: es el predictor de mayor peso estadístico.

El experimento 1 constata que **cuantos más modelos mentales se han de ejecutar tanto más difícil es un problema –menor porcentaje de sujetos lo resuelven bien-**. De este modo, se confirma plenamente la segunda hipótesis planteada. En este mismo experimento, se concluye que **a mayor conocimiento previo mayor probabilidad de resolver correctamente los problemas difíciles, aunque el conocimiento previo únicamente genera diferencias significativas entre sujetos cuando los problemas no son ni muy fáciles ni muy difíciles**. Es decir, sólo cuando se resuelven problemas en los que se ejecutan pocos modelos mentales – de dos a tres- el conocimiento previo de los sujetos discrimina a la hora de resolverlos con éxito. Por consiguiente, este resultado obtenido matiza nuestra tercera hipótesis y delimita claramente el papel del conocimiento previo en la resolución de problemas.

Como consecuencia del experimento 2 se puede afirmar que **para ayudar a los estudiantes, sobre todo a los de menor conocimiento previo, a elaborar modelos mentales adecuados para resolver problemas, tenemos que proporcionarles una información coherente y que conecte con su conocimiento previo.** Ello comporta la ratificación de la cuarta hipótesis planteada con una especificación: son los sujetos de menor conocimiento previo los que más provecho sacan de estas variables instruccionales.

Del experimento 1 se infiere que **cuando están implicados los mismos conceptos, saber resolver los algorítmicos no comporta saber resolver los conceptuales y para saber solucionar estos últimos es importante dominar los primeros.** Esto es, los resultados indican que el conocimiento procedimental del algoritmo es condición necesaria aunque no suficiente para la apropiada comprensión y aplicación de los conceptos. Todo ello está en completa consonancia con lo que se exponía en la quinta hipótesis.

Por último, el experimento 2 pone de manifiesto que **las variables instruccionales que mejoran la coherencia de los contenidos, mediante la presentación de los conceptos interrelacionados y organizados, y conectan los nuevos contenidos con los conocimientos que ya disponen los sujetos-, son capaces de incrementar significativamente el número de estudiantes que resuelven bien los problemas conceptuales, aunque no se mejora de manera significativa el resultado en los algorítmicos.** Es decir, sólo la conjunción de ambos grupos de variables en la instrucción, facilita la elaboración de modelos mentales apropiados para resolver

problemas que demandan comprensión y aplicación de conceptos, y razonamiento inferencial. En cuanto a los problemas algorítmicos –que implican únicamente aplicación de definiciones, fórmulas o reglas- no requieren para su resolución de elaboración de modelo mental alguno, pueden ser resueltos simplemente a partir de una representación mental proposicional, y un elevado número de estudiantes que los hacen bien, sin necesidad de ayudas instruccionales específicas. Por consiguiente, se corrobora la hipótesis sexta de nuestra investigación.

## 6. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Varias son las implicaciones que se derivan del presente trabajo. La primera sería que el profesorado debería tener muy en cuenta el conocimiento previo del alumnado como punto de partida en su diseño instruccional. Una vez conocidas las deficiencias se debería actuar para proporcionar el mismo nivel de conocimiento antes de iniciar el desarrollo de una unidad didáctica (secuencia de prerequisites de aprendizaje). Esto pondría a todos los alumnos en situación de poder abordar con eficacia las diferentes actividades de aprendizaje.

La segunda implicación hace referencia a las estrategias que emplean los estudiantes durante el estudio. En este estudio hemos evaluado dichas estrategias mediante una prueba en la que se medía la capacidad para interrelacionar conceptos y seleccionar los contenidos más relevantes de un texto. Ambas cosas han resultado ser decisivas en la resolución de problemas y, por tanto, tendrían que ser fomentadas en las actividades de aprendizaje en el aula. No obstante, no podemos pasar por alto otras estrategias que no se han tratado aquí pero que resultan igualmente cruciales en la resolución de problemas y que también deberían ser objeto de instrucción específica: las estrategias cognitivas para controlar nuestros conocimientos y comprensión o estrategias metacognitivas (Campanario et al. 1998).

La tercera implicación se centra en la variable que ha resultado ser más trascendental en nuestro trabajo: el conocimiento conceptual o proposicional. Hemos podido constatar que conseguir que nuestros alumnos integren los nuevos conceptos y establezcan nexos

entre ellos en su estructura cognitiva ha de ser objetivo prioritario en la enseñanza de las ciencias. En este aspecto, no dejaremos de resaltar la función que puede y debe ejercer el libro de texto en la facilitación de la comprensión y aplicación de conceptos, y que se manifiesta mediante la resolución de problemas conceptuales. Sin embargo, esta circunstancia no puede dejar de lado que las estrategias de orden metodológico son un potente instrumento para abordar con éxito la resolución de problemas en el aula de ciencias (Gil et al., 1990). Esto no es óbice para sospechar de la falta de eficacia de estas estrategias metodológicas si el alumno no dispone de un marco conceptual donde apoyarse. Con todo, no podemos dejar de señalar que solamente hemos puesto en juego el conocimiento conceptual, y que la base de un conocimiento adecuado para resolver problemas consta, además de dicho conocimiento conceptual (también llamado declarativo), de conocimiento situacional, conocimiento procedimental y conocimiento estratégico (Ferguson-Hessler y de Jong, 1991).

Nuestro estudio sugiere que el uso de estrategias instruccionales que tomen como referencia los problemas algorítmicos no es adecuado para la comprensión y aprendizaje de los conceptos. Por ello, nuestro trabajo en el aula debería orientarse hacia tareas de alto nivel cognitivo, como, por ejemplo, problemas que requieran capacidad de análisis y síntesis, así como llevar a cabo conexiones conceptuales y evaluación de decisiones en situaciones problemáticas que no sean familiares (Zoller et al, 1995) . En este sentido, tanto los trabajos de Leonard (1987) y Leonard y Lowery (1984), como los de Perdersen y colaboradores (1988) confirman el hecho de que cuantas más operaciones cognitivas se le requieren al estudiante tanta más información es capaz de asimilar. Con todo, a pesar del poco valor de los problemas algorítmicos como indicadores de comprensión de conceptos, lo que cuestiona su extensa utilización en la evaluación del aprendizaje y

la profusión con que suelen aparecer en los textos con finalidad pedagógica, no podemos descartarlos taxativamente como herramientas útiles en determinadas situaciones educativas. Pueden ser útiles para los primeros contactos didácticos con los conceptos y las leyes, además de facilitar luego la resolución de problemas conceptuales que presentan también demandas procedimentales algorítmicas..

Hemos podido constatar que instruir a nuestros alumnos de manera que se presenten los nuevos conceptos interrelacionados y organizados, mediante estructuras lingüísticas de baja complejidad léxico-sintáctica que permitan interconectar los conceptos, así como facilitar la integración de los nuevos conceptos en sus esquemas de conocimiento ha de ser objetivo prioritario en la enseñanza de las ciencias. En este aspecto, el libro de texto puede desempeñar un importante papel. De hecho, hemos comprobado en este trabajo cómo ciertas modificaciones textuales pueden conducir a una mejora significativa en el en la resolución de problemas -incluso en estudiantes de escaso conocimiento previo- confirmando de este modo su efectividad en la ayuda a los estudiantes en la elaboración de modelos mentales. De todo esto se infiere el alto rendimiento que se le puede sacar al libro de texto en ciencias, si tiene una buena calidad instruccional y su utilización se realiza convenientemente, para poner a alumnos de diferente conocimiento previo – caso muy usual en nuestras aulas- en situación de afrontar los mismos aprendizajes.

Para acabar, no podemos dejar de efectuar una recomendación al profesorado: la necesidad de evaluar la dificultad del enunciado de un problema atendiendo al número de modelos mentales que se han de activar para poder resolverlo. Esto comporta efectuar un análisis previo de la situación educativa: qué información hemos de

proporcionar, a qué alumnos va destinado, en qué fase del diseño curricular se propone,  
etc.

## 7.BIBLIOGRAFÍA.

- ANDERSON, J. (1995). *Learning and Memory: An Integrated Approach*. New York: Wiley.
- BODNER M.G. y DOMIN, D.S. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in Chemistry. *University Chemistry Education*, 4 (1), 24-30.
- BROWN, A.L.; DAY, J.D.; JONES, R.S.(1983). The development of plans for summarizing texts. *Child Development*, 54, 968-979.
- BUNCE, D.M. ; HUTCHINSON, K.D. (1993). The use of the GALT (Group Assessment of Logical Thinking) as a Predictor of Academic Success in College Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 70 , 183-187.
- BUTELER, L.; GANGOSO, Z.; BRINCONES, I. y GONZÁLEZ MARTÍNEZ, M. (2001). *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 285-295.
- CAMPANARIO, J.M.; CUERVA, J.; MOYA, A.; OTERO, J (1998). La metacognición y el aprendizaje de las ciencias. En E. Banet y A. de Pro (Eds.): *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias*. Vol I, 36-44. Murcia: DM.
- CAREY, S.(1986). Cognitive Science and Science Education. *American Psychologist*, 41 , 1123-1130.
- CHANDRAN, S.; TREAGUST, D.F.; TOBIN, K.(1987). The role of cognitive factors in chemistry achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 24 , 145-160.

CHI, M.T.H.; GLASER, R.; REES, E.(1982). Expertise in problem solving. En R.J. Stenberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*, Vol. 1. Hillsdale: Erlbaum.

CHI, M.T.H.; FELTOVICH, P.J. y GLASER, R (1981). Categorization and representation of physics problem by experts and novices. *Cognitive Science*, 5 , 121-151.

COLEONI, E.A.; OTERO, J.C.; GANGOSO, Z. y HAMITY, V.(2001). La construcción de la representación en la resolución de un problema de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6 (3). [www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm).

COSTA S. S. C. y 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.

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

DE JONG, T.; FERGUSON-HESSLER, M.G.M.(1986). Cognitive structures of good and poor novice problem solvers in physics. *Journal of Educational Psychology*, 78 , 279-288.

DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 6, 109-130.

DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGUIEN, A.(1989). *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. Madrid: MEC y Morata.

ENTWISTLE, N.; RAMSDEN, P.(1983). *Understanding student learning*. London: Croom Helm.

- ESCUADERO, C. (1995). Resolución de problemas en física: Herramienta para reorganizar significados. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12, 95-106.
- FERGUSON-HESSLER, M.G. ; 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.
- GABEL, D.L. y BUNCE, D.M. (1994). Research on problem solving: chemistry. En D.L. Gabel (Ed.). *Handbook of Research on Science Teaching*. MacMillan: New York.
- GARCÍA-MADRUGA, J.A.; GUTIÉRREZ, F; CARRIEDO, N.; MORENO, S. Y JOHNSON-LAIRD, P.N. (2002). Mental Models in Deductive Reasoning. *The Spanish Journal of Psychology*, 5 (2), 125-140.
- GIL, D., DUMAS-CARRÉ, A. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.(1990). Paper and pencil problem solving in the physical sciences as an activity of research. *Studies in Science Education*, 18, 137-151
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (1996). Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de posgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1). [www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm)

- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 289-303.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (2002a). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86 (1), 106-121.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A. (2002b). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1). [www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm).
- GUTIÉRREZ, R. (1987). El desarrollo mental. En B. Marco, E. Olivares, C. Usabiaga, T. Serrano y R. Gutiérrez: *La enseñanza de las ciencias experimentales*. Madrid: Narcea.
- HEGARTY-HARZEL, E.y PROSSER, M. (1991) Relationship between students' conceptual knowledge and study strategies- part 1: students learning in physics, en *International Journal of Science Education*, 13, 303-312.
- HELLMAN, W.(1989). Conceptual versus nonconceptual questions in the grading of physics students. *The Physics Teacher*, 26, 383-386.
- HERRON, J.D.(1978). Role of learning and development: critique of Novak's comparison of Ausubel and Piaget. *Science Education*, 62 , 593-605.
- HIERREZUELO, J.; MONTERO, A. (1989). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*. Barcelona : MEC y Laia.
- JOHNSON-LAIRD, P.N.(1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge,UK: Cambridge U.P.

- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1990). Mental models. En M. Posner (Ed.). *Foundations of cognitive science* (pp. 469-499). Cambridge, MA: MIT Press.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1996). Images, Models and Propositional Representations. En M. De Vega; M.J. Intons-Peterson; P.N. Johnson-Laird; M. Denis y M. Marschark (Eds.). *Models of Visuospatial Cognition* (pp 90-127). Oxford: Oxford U.P.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (2000). The current state of the mental model theory. En J.A. García-Madruga; N. Carriedo y M.J. González Labra (Eds.). *Mental models in reasoning* (pp.16-40). Madrid: UNED.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. y BARA, B.G.(1984). Syllogistic inference. *Cognition*, 16, 1-62.
- JOHNSTONE, A.H. y EL-BANNA, H. (1986). Capacities, demands and processes –a predictive model for science education. *Education in Chemistry*, 23, 80-84.
- JOHNSTONE, A.H.; HOGG, W.R. y ZIANE. M. (1993). A working memory model applied to physics problem solving. *International Journal of Science Education*, 15, 663-672.
- JUST, M.A.; CARPENTER, P.A.(1987). *The Psychology of reading and language*. Boston: Allyn & Bacon.
- 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.; NICHOLLS, C.E.(1983). Problem-solving ability and Cognitive Structure: An exploratory investigation. *European Journal of Science Education*, 5 , 171-184.
- KERLINGER, F. ; PEDHAZUR, E.(1973). *Multiple Regression Behavioral Research*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- KINTSCH, W. (1998). *Comprehension: a paradigm for cognition*. Cambridge University Press: Cambridge UK.
- KINTSCH, W. y VAN DIJK, T. A.(1978) Toward a model of discourse comprehension and production. *Psychological Review*, 85, 363-394.
- LANG DE SILVEIRA, F.; MOREIRA, M.A. ; AXT, R.(1992a). Habilidad en preguntas conceptuales y en resolución de problemas de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 , 58-63.
- LANG DE SILVEIRA, F.; MOREIRA, M.A. ; AXT, R.(1992b) Estructura interna de testes de conhecimento em Física: Um exemplo em mecânica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 , 187-194.
- LAWSON, A.E.(1983). Predicting science achievement. The role of developmental level, disembedding ability, mental capacity, prior knowledge and belief. *Journal of Research in Science Teaching*, 20 , 141-162.
- 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.
- LEE, K.W.L.; TANG, W.U.; GOH, N.K. ; CHIA, L.S. (2001). The predicting role of cognitive variables in problem solving in mole concept. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe (CERAPIE)*, 2 , 285-301.

- 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.
- MAYER, R.E. (1992). *Thinking, problem solving and cognition*. New York: Freeman.
- MAZUR, E.(1996). *Conceptests*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs: N.J.
- MOREIRA, M.A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1 (3). [www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm).
- MOREIRA, M.A. ; BUCHWEITZ, B.(2000). *Novas estratégias de Ensino e Aprendizagem*. Lisboa: Plátano.
- MOREIRA, M.A.; GRECA, I.M. y RODRÍGUEZ PALMERO, M.L.(2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2 (3), 37-57.
- MEYER, B.J.F. (1984). Text dimensions and cognitive processing. En H. Mandl, N. Stein y T. Trabasso (Eds.): *Learning from texts*. Hillsdale: Erlbaum.
- NAKHLEH, M.B.(1993). Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers?. *Journal of Chemical Education*, 70 (1), 52-55.
- NAKHLEH, M.B. y MITCHELL, R.C. (1993). Concept learning versus problem solving: There is a difference. *Journal of Chemical Education*, 70 (3), 190-192.

- NETO, A.J (1991). Factores psicológicos de insucesso na resolução de problemas de Física: Uma amostra significativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 275-290.
- NÍAZ, M.(1987). Relation between M-Space of students and M-Demand of different items of General Chemistry and its interpretation based upon the Neo-Piagetian theory of Pascual-Leone. *Journal of Chemical Education*, 64, 502-505.
- NOVAK, J.D.(1982). *Teoría y práctica de la educación*. Madrid: Alianza Editorial.
- 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.(1999). *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 (6), 508-509.
- PEDERSEN, J., BONNTETTRER, 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.
- PERRIG, W. y KINTSCH, W. (1985). Propositional and situational representations of text. *Journal of Memory and Language*, 24, 505-518.

- PICKERING, M. (1990). Further studies on concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, 67 (3), 254-255.
- OTERO, M.R.; PAPINI, C. y ELICHIRIBEHETY, I (1998). Las representaciones mentales y la resolución de un problema: Un estudio exploratorio *Investigações em Ensino de Ciências*, 3 (1).  
[www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm).
- ROBINSON, W.R. ; NÍAZ, M. (1991). Performance based on instruction by lecture or by interaction and its relationship to cognitive variables. *International Journal of Science Education*, 13 , 203-215.
- RODRÍGUEZ PALMERO, M.L. (2004). La teoría del aprendizaje significativo. En Cañas, A.J.; Novak, J.D. y González, F.M. (Eds.): *Proceedings of the First Conference on Concept Mapping*, Pamplona (Spain), 2004.
- RODRÍGUEZ PALMERO, M.L.; MARRERO ACOSTA, J. y MOREIRA, M.A. (2001). La teoría de modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios de aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6 (3).  
[www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm).
- SANJOSÉ, V.; SOLAZ-PORTOLÉS, J.J.; VIDAL-ABARCA, E.(1993). Mejorando la efectividad instruccional del texto educativo en ciencias: Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 , 137-148.
- SANTAMARIA, C.; GARCÍA-MADRUGA, J.A. y CARRETERO, M. (1996). Beyond belief bias: Reasoning from conceptual structures by mental models manipulation. *Memory & Cognition*, 24 (2), 250-261.
- SAWRREY, B.A. (1990). Concept learning versus problem solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67 (3), 253-254.

- SCARDAMALIA, M.; BEREITER, C. (1984). Development of strategies in text processing. En H. Mandl, N.L. Stein y T. Trabasso (Eds.). *Learning and Comprehension Text*. Hillsdale: Erlbaum.
- SCHMALHOFER, F. y GLAVANOV, D.(1986). Three components of understanding a programmer's manual: Verbatim, prepositional and situational representations. *Journal of Memory and Language*, 25, 279-294.
- SIGÜENZA, A.F. (2000). Formación de modelos mentales en la resolución de problemas de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), 439-450.
- STEWART, J.(1980). Techniques for assessing and representing information in cognitive structure. *Science Education*, 64 , 223-235.
- STINNER, A.(1992). Science textbooks and science teaching: From logic to evidence. *Science Education*, 76, 1-16, 1992.
- ST.-YVES, A.(1988). *Psicología de la enseñanza-aprendizaje*. México: Trillas.
- TREAGUST, D.; DUIT, R.; NIESWANDT, M. (2000). Sources of students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11 , 228-235.
- VAN DIJK, J, A. y KINTSCH, W.(1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- VIDAL-ABARCA, E. y SANJOSÉ, V. (1998) Levels of Comprehension of Scientific Prose: The role of Text variables. *Learning and Instruction*, 8, 215-233.
- WANDERSEE, J.H.; MINTZES, J.J.; NOVAK, J.D.(1994). Research on Alternative Conceptions in Science. En D. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, 177-210. New York: MacMillan.

WEST, L.H.T. y PINES, A.L.(1985). *Cognitive Structure and conceptual change*.

New York: Mc Millan Publishing.

ZEITOUN, H.H.(1989). The relationship between abstract concept achievement and prior knowledge, formal reasoning ability and gender. *International Journal of Science Education*, 11 , 227-234.

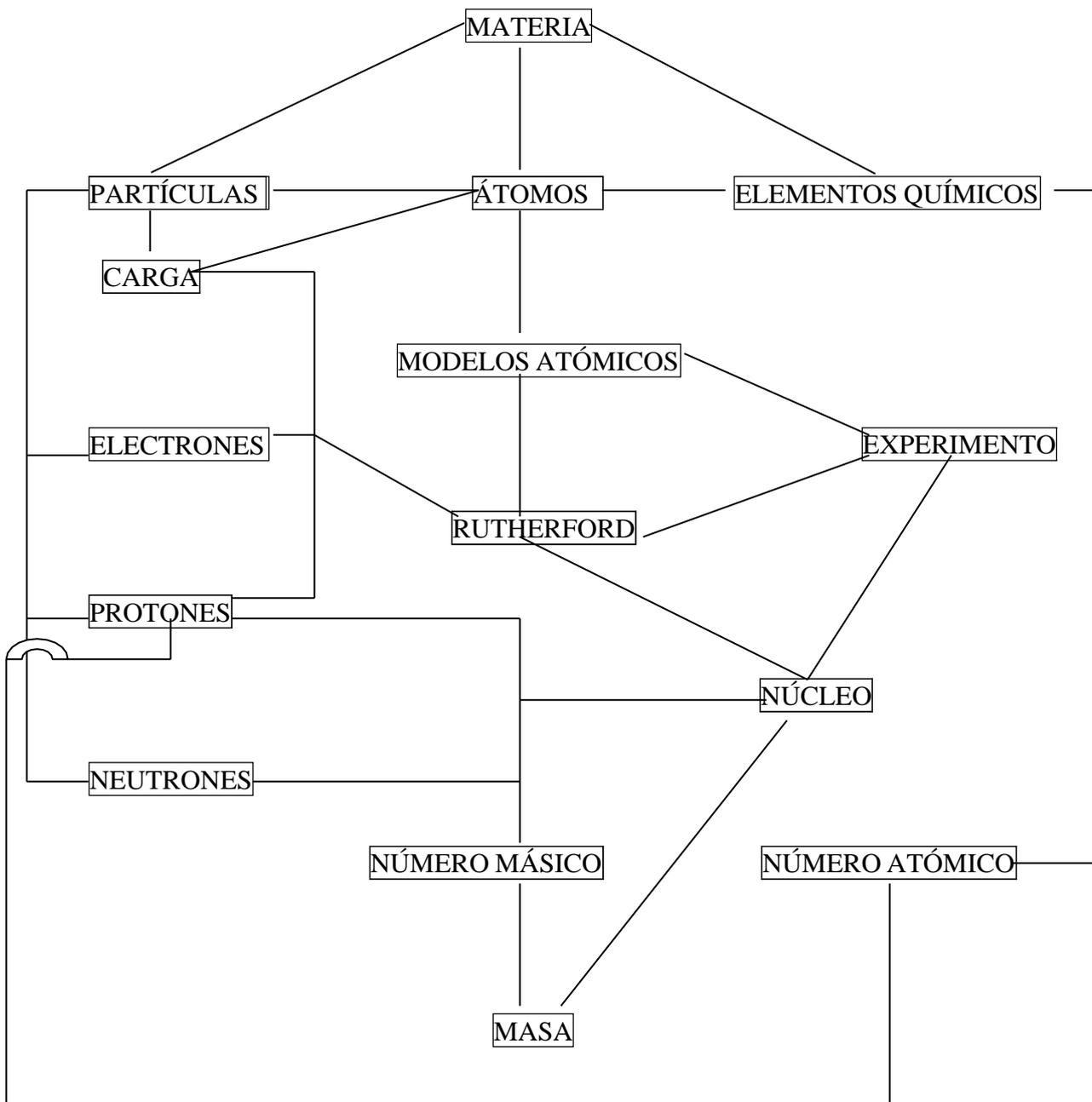
ZOLLER, U., LUBEZKY, A., NAKHLEH, M.B., TESSIER, B. y DORI, Y.J (1995). Success on algorithmic and LOCS vs. conceptual chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, 72 (11), 987-989.

### Anexo I. Conceptos Internos y Externos.

**Conceptos Internos:** Materia, Átomo, Modelo Atómico, Experimento, Rutherford, Masa, Carga, Núcleo, Partícula, Electrón, Protón, Número Atómico, Elemento, Neutrón, Número Másico.

**Conceptos externos:** Átomo de Hidrógeno, Tabla Periódica, Positiva (Carga), Negativa (Carga), Nula (Carga), Tamaño, Vacío, Isótopo.

### Anexo II. Mapa de asociación de conceptos internos



### Anexo III. Ideas Principales.

1. La materia está compuesta por átomos.
2. El átomo, por ser neutro, tiene igual número de cargas negativas (electrones) que de positivas (protones).
3. Los modelos atómicos sirven para explicar y predecir los hechos experimentales concernientes al átomo.
4. La masa y la carga positiva del átomo se concentra en el núcleo, la carga negativa envuelve a éste.
5. El átomo es hueco (vacío) en su mayor parte.
6. El número atómico o número de protones del núcleo caracteriza a un elemento del sistema periódico.
7. La carga del electrón es negativa y su masa es unas dos mil veces menor que la del protón. La carga del protón es positiva. La carga del neutrón es nula y su masa es aproximadamente igual a la del protón.
8. Los átomos se representan mediante su símbolo, el número de protones como subíndice y el número de protones más el de neutrones como supraíndice:  ${}^p{}_p X$
9. El átomo está constituido por un núcleo diminuto de protones y neutrones, y por electrones moviéndose en un gran volumen vacío.

**Anexo IV. Prueba de resolución de problemas.**

1. Indica qué partículas subatómicas están presentes en el átomo  ${}_{13}^{27}\text{Al}$ .
2. ¿A qué se debe que unas partículas positivas (los proyectiles) se desvíen más que otras en la experiencia de Rutherford?
3. ¿Por qué resulta más fácil arrancar o añadir electrones que protones en un átomo?
4. Si en el experimento de Rutherford se hubieran utilizado átomos cargados negativamente como proyectiles, y los resultados obtenidos hubieran sido los mismos, ¿qué modelo propondrías para el átomo?
5. Haciendo uso del modelo que acabas de proponer, ¿cómo explicarías una experiencia de electrificación por frotamiento?
6. Un átomo con 6 protones, 6 electrones y 6 neutrones, y otro átomo con 6 protones, 5 electrones y 8 neutrones, ¿son átomos de un mismo elemento químico?. ¿Por qué?

### **Anexo V. Parte del texto en las cuatro versiones.**

#### **Texto A.**

---

##### 1. LA ELECTRICIDAD Y EL ÁTOMO.

El primer modelo atómico lo formuló Dalton en su teoría atómica. De ella extraemos dos de sus ideas fundamentales: los átomos son indivisibles y los átomos de cada elemento químico se diferencian por su masa.

La materia en estado normal es eléctricamente neutra, y simplemente por frotamiento algunas sustancias se cargan positivamente, y otras negativamente. En unas experiencias llevadas a cabo estableciendo entre los electrodos de un tubo de descarga que contiene gases a baja presión una fuerte diferencia de potencial, se observó la presencia de partículas portadoras de carga negativa. Estas partículas de carga negativa recibieron el nombre de electrones. Así pues, el modelo de Dalton resultó inadecuado por ambas razones.

---

**Texto B.**

---

**1. MODELO ATÓMICO DE DALTON Y SU INCOHERENCIA CON LA PRESENCIA DE CARGAS EN EL ÁTOMO.**

El primer modelo atómico lo formuló Dalton en su teoría atómica. De ella extraemos dos de sus ideas fundamentales:

1. **Los átomos son indivisibles.**
2. Los átomos de cada elemento químico se diferencian por su masa.

No obstante, el modelo planteado por Dalton resultó inadecuado por dos razones:

1. **La materia en estado normal es eléctricamente neutra**, y simplemente por frotamiento algunas sustancias se cargan positivamente y otras negativamente.
2. En unas experiencias llevada a cabo sometiendo a los gases a descargas eléctricas, **se observó la presencia de partículas portadoras de carga negativa**. Estas partículas de carga negativa recibieron el nombre de **electrones**.

Así pues, todo indica que **en el átomo existen cargas negativas** que se arrancan con relativa facilidad, los electrones. **Y por ser el átomo eléctricamente neutro, debe de haber en su seno cargas positivas** que neutralicen a los electrones. En consecuencia, salta a la vista **que la presencia de partículas cargadas en el átomo se halla en clara contradicción con la indivisibilidad del átomo del modelo de Dalton.**

---

**Texto C.**

---

**1.LA ELECTRICIDAD Y EL ÁTOMO.**

Ya conocemos el primer modelo atómico, el que formuló Dalton en su teoría atómica. De ella extraemos dos de sus ideas fundamentales: los átomos son indivisibles, es decir, forman un bloque compacto sin partes ni divisiones; y los átomos de cada elemento químico se diferencian por su masa (la masa del átomo de hierro es diferente a la del azufre, por ejemplo).

Como ya hemos estudiado en el tema de Electrostatica, la materia en estado normal es eléctricamente neutra, y simplemente por frotamiento algunas sustancias se cargan positivamente, por pérdida de cargas negativas, y otras negativamente, por ganancia de cargas negativas. En unas experiencias llevadas a cabo estableciendo entre los electrodos de un tubo que contiene gases a baja presión una fuerte diferencia de potencial (voltaje o tensión eléctrica), se observó la presencia de partículas que únicamente podían proceder de los átomos constituyentes del gas. Estas partículas de carga negativa recibieron el nombre de electrones. Así pues, el modelo de Dalton resultó inadecuado por ambas razones.

---

**Texto D.**

---

## **1. MODELO ATÓMICO DE DALTON Y SU INCOHERENCIA CON LA PRESENCIA DE CARGAS EN EL ÁTOMO.**

Ya conocemos el primer modelo atómico, el que formuló Dalton en su teoría atómica. De ella extraemos dos de sus ideas fundamentales:

a) **Los átomos son indivisibles, es decir, forman un bloque compacto sin partes ni divisiones.**

b) Los átomos de cada elemento químico se diferencian por su masa (la masa del átomo de hierro es diferente a la del azufre, por ejemplo).

No obstante, el modelo planteado por Dalton resultó inadecuado por dos razones:

a) Como ya hemos estudiado en el tema de Electrostática, **la materia en estado normal es eléctricamente neutra**, y simplemente por frotamiento algunas sustancias se cargan positivamente, por pérdida de cargas negativas, y otras negativamente, por ganancia de cargas negativas.

b) En unas experiencias llevada a cabo sometiendo a los gases a descargas eléctricas, **se observó la presencia de partículas portadoras de carga negativa** que únicamente podían proceder de los átomos constituyentes del gas. Estas partículas de carga negativa recibieron el nombre de **electrones**.

Así pues, todo indica que **en el átomo existen cargas negativas** que se arrancan con relativa facilidad, los electrones. **Y por ser el átomo eléctricamente neutro, debe de haber en su seno cargas positivas** que neutralicen a los electrones. En consecuencia, salta a la vista **que la presencia de partículas cargadas en el átomo se halla en clara contradicción con la indivisibilidad del átomo del modelo de Dalton.**

---