

Resolución de problemas, modelos mentales e instrucción

Joan Josep Solaz-Portolés¹ y Vicent Sanjosé López²

¹IES Benaguasil (València)/ UNED València. E-mail: jjsolpor@telefonica.net.

²Departament Didáctica Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València. E-mail: vicente.sanjose@uv.es

Resumen: En el presente artículo ofrecemos un experimento en el que estudiantes de diferente conocimiento previo resuelven problemas tras la lectura de un texto que contiene diversas variables instruccionales. Estas variables son manipuladas mediante cambios textuales deliberados que se inspiran en la teoría de Kinstch y van Dijk. Nuestro objetivo es analizar la influencia de las variables instruccionales en la formación de los modelos mentales necesarios para la resolución de los problemas.

Palabras-clave: resolución de problemas, modelos mentales, conocimiento previo, variables instruccionales, texto.

Title: Problem solving, mental models and instruction

Abstract: In this paper we offer an experiment in which students of different previous knowledge solve problems after the reading of a text that contains diverse instructional variables. These variables have been manipulated by means of changes in the text that are inspired by the theory of Kintsch and van Dijk. Our objective is to analyse the influence of the instructional variables on the formation of necessary mental models to solve problems.

Key-words: problem solving, mental models, previous knowledge, instructional variables, text.

Introducción

La potencialidad de la teoría de modelos mentales propuesta por Jhonson-Laird (1983, 1990, 1996 y 2000) para explicar el razonamiento humano se ha puesto de manifiesto en muchos trabajos, como los desarrollados por Santamaría y colaboradores (1996) y García-Madruga y colaboradores (2002). 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. Los modelos mentales no son representaciones duraderas –en la memoria a largo plazo– como los esquemas de conocimiento, sino 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.

La resolución de problemas es uno de los campos más estudiados en el aprendizaje humano, y algunos investigadores han aplicado la teoría de modelos mentales para ello (Anderson, 1995; Mayer, 1992). Dado que el aprendizaje de las ciencias experimentales suele medirse a través de la capacidad de resolver cuestiones y problemas, los investigadores en el área de la didáctica de las ciencias han fijado también su atención en las representaciones mentales –incluyendo 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 Johnson-Laird, sin embargo, todos ellos ponen el acento en la relevancia de la formación de un modelo mental correcto 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 a 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. Esto pone de relieve un vínculo entre alto nivel de comprensión y activación de modelos mentales por un lado, y entre bajo nivel de comprensión y uso exclusivo de estructuras algorítmicas, por otro.

Precisamente esta relación centra nuestro interés en este trabajo, en el que diseñamos y realizamos un experimento con varios objetivos: a) Estudiar qué variables instruccionales pueden activar de un modo eficaz los modelos mentales requeridos para resolver problemas conceptuales – aquellos que demandan comprensión de conceptos y razonamiento inferencial– de un modo satisfactorio; b) Estudiar las diferencias ocasionadas por ciertas variables instruccionales en la resolución de problemas algorítmicos –aquellos que comportan únicamente resolver ecuaciones, aplicar reglas y realizar cálculos– y

conceptuales; y c) Analizar la influencia concomitante del conocimiento previo en todo ello.

En dos trabajos recientes hemos estudiado la influencia de algunas variables y procesos cognitivos en la resolución de problemas. En el primero (Solaz-Portolés y Sanjosé, 2006a), se analiza el papel que desempeñan las variables conocimiento previo, estrategias de estudio y conocimiento conceptual - conceptos y estructuras proposicionales en la memoria a largo plazo- en la resolución de problemas. Los resultados obtenidos a partir de tres análisis estadísticos (correlaciones entre variables, análisis de regresión múltiple y análisis de regresión *stepwise*) indican que las tres variables mencionadas influyen de manera estadísticamente significativa en el éxito en la resolución de problemas. Además, de las tres variables el conocimiento conceptual ha resultado ser la que más contribuye en dicha resolución. No obstante, según señalan Ferguson-Hessler y de Jong (1990), la base de un conocimiento adecuado para resolver problemas consta, además de conocimiento conceptual (también llamado declarativo), de conocimiento situacional, conocimiento procedimental y conocimiento estratégico (Ferguson-Hessler y de Jong, 1990). En el segundo trabajo (Solaz-Portolés y Sanjosé, 2006b), se pone a prueba la teoría de modelos mentales de Johnson-Laird y se delimita el papel del conocimiento previo en la resolución de problemas. En concreto, la teoría sale airoso para explicar la menor o mayor dificultad de un problema en función del número de modelos mentales que se deben ejecutar en la memoria de trabajo, y el conocimiento previo se revela como decisivo en la resolución de un problema sólo en aquellos casos en los que, o bien no se requiere de un modelo mental en la resolución, o bien el número de modelos a activar es demasiado alto –mayor de cuatro.

Así pues, teniendo en consideración todo lo dicho hasta aquí y, a modo de resumen, podemos concluir que un estudiante que se instruye e intenta resolver un problema necesita elaborar y poner en funcionamiento modelos mentales sobre el mismo. Los modelos mentales elaborados vendrán determinados por: el enunciado del correspondiente problema, el conocimiento previo del alumno y las variables instruccionales involucradas.

Un modo de controlar las variables instruccionales que se ponen en juego consiste en suministrar la información a través de textos expositivos diseñados al efecto. Según la teoría de comprensión de textos de Kintsch y Van Dijk (Kintsch, 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; Vidal-Abarca y Sanjosé, 1998) 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 Kintsch, 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 Johnson-Laird denomina modelo mental.

A partir de los objetivos propuestos para el presente experimento, y tomando como base la teoría de Kintsch y van Dijk, consideraremos dos grupos de variables instruccionales: variables que mejoran la coherencia textual y, por tanto, facilitan la formación de la BT; y variables que favorecen la integración del texto dentro de los esquemas de conocimiento del lector y, consecuentemente, promueven la formación del MS. Teniendo presentes trabajos y experimentos anteriores, y los antecedentes mencionados, los objetivos que nos hemos planteado serán abordados mediante las siguientes hipótesis:

1. Dado que la formación de un Modelo de la Situación rico está relacionado con el éxito en la resolución de problemas, los sujetos que lean un texto que contenga variables instruccionales que mejoren simultáneamente la coherencia textual y el encaje de los contenidos en sus esquemas de conocimiento, resolverán mejor los problemas. Esto es, dichas variables facilitarán la puesta en funcionamiento de los modelos mentales necesarios para la resolución de problemas.

2. En Ciencias, un conocimiento previo alto está asociado con la presencia de modelos mentales bien estructurados y funcionales. Por ello, esperamos que los sujetos de alto conocimiento previo se beneficiarán mucho menos que los de bajo conocimiento previo con dichas variables instruccionales.

3. La dificultad de un problema está vinculada con la cantidad de modelos mentales que deben ser activados simultáneamente para su correcta resolución. Los efectos de las variables instruccionales sobre la formación de modelos mentales adecuados será más clara cuanto más demanda cognitiva genere el problema. Por esta razón, cuanto más difícil sea un problema tanto mayor será la influencia de las variables instruccionales anteriores.

Metodología

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.

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.

La instrucción se realizó a través de textos. 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 (Solaz-Portolés, 1995). En el Anexo I se 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. Para ello, se plantea una secuencia organizativa que se inicia con las ideas más simples, las mejor conocidas o familiares para el alumno para después elaborar cada una de ellas, y volver al final de la secuencia a sintetizar las ideas con un mayor grado de precisión, complejidad y abstracción.
- 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 expliciten vínculos entre conceptos que quedan implícitos y otras que llamen la atención del lector y la dirijan hacia los conceptos nucleares.
- 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 previsibles concepciones espontáneas del lector.
- Incluir analogías y ejemplos que relacionen la información textual con el mundo real del lector.

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 (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 II). Con estos conceptos, se pidió a los sujetos que escribieran de cinco a diez frases del tamaño que deseasen 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 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 II). 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 sólo 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, 1988 a y b; Chi et al., 1981) apuntan que la diferencia entre expertos y novatos radica en que los primeros 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: $C.P. = \sqrt{\text{conceptos} \times \text{relaciones}}$. 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 resolución de problemas: El propósito de esta prueba fue evaluar la capacidad de los sujetos para transferir y 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. Por hipótesis, esta prueba valora la construcción de un adecuado MS.

Elaboramos para esta prueba un cuestionario abierto de seis ítems sobre *Modelos Atómicos* (Anexo III). Cinco de ellos pueden ser considerados como *conceptuales* (ítems 2,3,4,5 y 6) y uno *algorítmico* (ítem 1). Recordemos que consideramos problemas *algorítmicos* a los que comportan únicamente resolver ecuaciones, aplicar reglas y realizar cálculos; y problemas *conceptuales* a los que demandan comprensión de conceptos y razonamiento inferencial. Además, en los ítems 1 (algorítmico) y 6 (conceptual) están implicados los mismos conceptos, razón por la cual serán objeto de una atención especial. 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.

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 llevaron 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.

Resultados

En la tabla 1 se ofrece la media aritmética y desviación estándar de la variable cognitiva conocimiento previo.

| Nombre de la variable | Instrumento | Tipo de variable | Media aritmética | Desviación estándar | Máxima puntuación posible |
|--------------------------|--------------------------------------|---|------------------|---------------------|---------------------------|
| Conocimiento Previo (CP) | Prueba de Conocimiento Proposicional | Independiente (raíz del producto de conceptos y relaciones) | 9.3 | 3.4 | 31.4 |

Tabla 1.- 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, según su puntuación estuviera por encima o por debajo de la media del grupo (9.3). En la tabla 2 aparecen los sujetos que leyeron cada una de las cuatro versiones textuales, según su conocimiento previo.

| | Texto A | Texto B | Texto C | Texto D |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| CP bajo | 9 | 12 | 11 | 10 |
| CP alto | 9 | 9 | 10 | 15 |

Tabla 2.- Número de sujetos que leyó cada una de las cuatro versiones textuales en función de su conocimiento previo.

Prueba de resolución de problemas

Los resultados en la Prueba de Resolución de Problemas para los sujetos de Conocimiento Previo Bajo, se recogen en la figura 1.

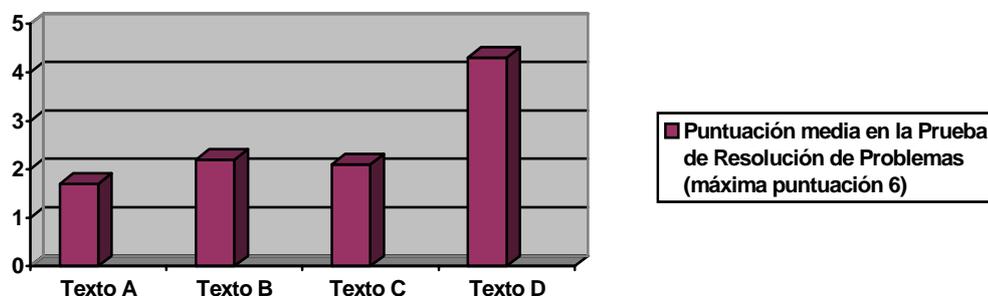


Figura 1.- Puntuación media obtenida en la Prueba de Resolución de Problemas por los estudiantes de conocimiento previo bajo, según el texto leído.

Como puede verse, la puntuación media de los grupos de conocimiento previo bajo sigue el orden: Texto D (4.3; desviación estándar $SD = 1.2$) > Texto B (2.2; $SD = 1.5$) > Texto C (2.1; $SD = 1.2$) > Texto A (1.7; $SD = 1.1$). 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 ($p < 0.01$), no existiendo diferencias significativas entre estos tres grupos..

Los resultados conseguidos en la Prueba de Resolución de Problemas por los distintos grupos de alumnos de Conocimiento Previo alto se presentan en la figura 2.

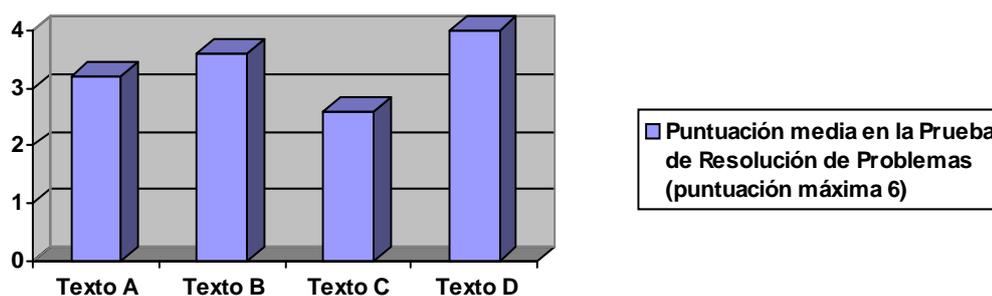


Figura 2.- Puntuación media obtenida en la Prueba de Resolución de Problemas por los estudiantes de conocimiento previo, según el texto leído.

Podemos observar en la figura 2 el siguiente orden de puntuación en los grupos de conocimiento previo alto: Texto D (4.0; $SD = 1.9$) > Texto B (3.6; $SD = 1.3$) > Texto A (3.2; $SD = 1.0$) > Texto C (2.6; $SD = 1.5$). 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: $F(3,39) = 1.77$, $MC_e = 4.10$, $p > 0.05$. Es decir, la versión textual no afecta al rendimiento de los sujetos con alto conocimiento previo en esta prueba.

Diferencias en el rendimiento en ítem algorítmico y conceptual

Como ya se ha dicho, dentro de la prueba de resolución de problemas hay dos ítems que implican los mismos conceptos en su resolución: el ítem 1, de carácter algorítmico y el ítem 6, de carácter conceptual. La Figura 3 muestra el porcentaje de sujetos de cada grupo que ha respondido correctamente al ítem 1 (algorítmico).

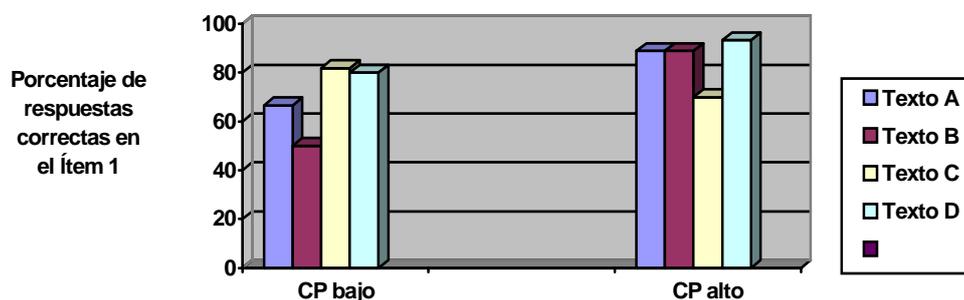


Figura 3.- Porcentaje de respuestas correctas en el ítem 1 de la Prueba de Resolución de Problemas de los estudiantes de conocimiento previo bajo y alto, según el texto leído.

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 4 aparece el porcentaje de sujetos de cada grupo que ha respondido correctamente al ítem 6 (conceptual).

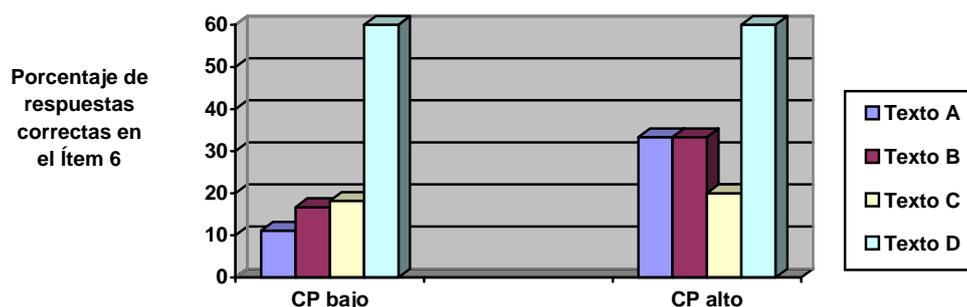


Figura 4.- Porcentaje de respuestas correctas en el ítem 6 de la Prueba de Resolución de Problemas de los estudiantes de conocimiento previo bajo y alto, según el texto leído.

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.

Análisis de un ítem difícil

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 5 presenta el porcentaje su sujetos de cada grupo que ha respondido correctamente el Ítem 5, según su conocimiento previo y versión de texto leída.

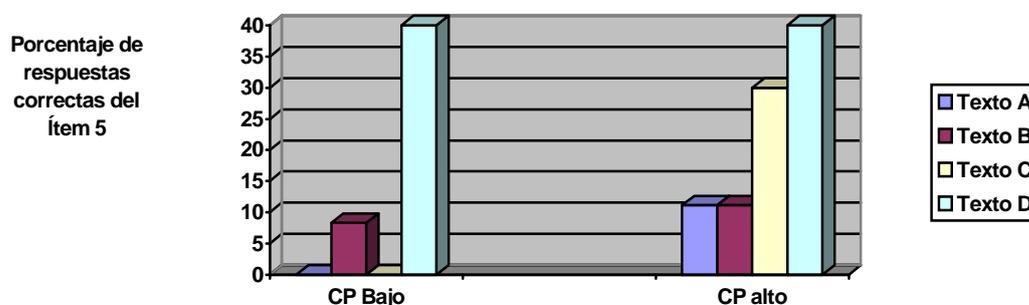


Figura 5.- Porcentaje de respuestas correctas en el Ítem 5 de la Prueba de Resolución de Problemas de los estudiantes de conocimiento previo bajo y alto, según el texto leído

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.

Discusión

En relación con las dos primeras hipótesis formuladas, los resultados globales obtenidos en la prueba de resolución de problemas, (Figuras 1 y 2) y las pruebas estadísticas realizadas, permiten deducir que las variables instruccionales contenidas en las versiones textuales no afectan a los sujetos de conocimiento previo alto, pero afectan mucho más a los sujetos de conocimiento previo bajo. Sin embargo, se necesita la concurrencia de las variables instruccionales puestas en juego en el Texto D para lograr efectos significativos en la resolución de problemas conceptuales, que requieren de modelos mentales adecuados para resolverlos correctamente. Esto es, para ayudar a los estudiantes a elaborar modelos mentales pertinentes para

resolver problemas, a partir de un nivel bajo de conocimiento previo, es necesario proporcionarles una información coherente y, además, que conecte con su conocimiento previo. Estas dos hipótesis quedan pues, confirmadas en los límites de nuestro experimento.

Por otra parte, queremos destacar el papel de las variables instruccionales en la resolución de problemas algorítmicos y conceptuales. Las Figuras 3 y 4 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 el ítem algorítmico 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 5 y 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, seis modelos mentales para su solución – modelo de materia compuesta por átomos, modelo atómico de Rutherford, modelo de interacción entre cargas y sus efectos sobre las trayectorias, modelo experimento de Rutherford, modelo adquisición de carga por frotamiento y modelo de accesibilidad y manipulación de los electrones y protones- 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.

Toda la discusión llevada a cabo hasta aquí en relación a los ítems 1, 6 y 5, algorítmico, conceptual y el más difícil de la prueba, respectivamente, viene a ampliar y matizar la tercera hipótesis de nuestro trabajo. En concreto, se le otorga un papel relevante al conocimiento previo, que no intervenía en nuestra hipótesis. De este modo, debería reformularse como: *Cuanto más difícil sea un problema y cuanto menor sea el conocimiento previo de los sujetos, tanto mayor será la influencia en de las variables instruccionales que mejoran la coherencia textual y la integración de los contenidos en los esquemas de conocimiento del estudiante.* En definitiva, nos viene a poner de manifiesto que dichas variables instruccionales parece que son esenciales para ayudar a los alumnos de menor conocimiento previo a ejecutar los modelos mentales adecuados.

Implicaciones didácticas

Los límites inherentes a esta investigación (la muestra no está determinada al azar ni su tamaño ha sido calculado, las diferentes versiones de los textos no están totalmente igualadas en algunas variables como el número de caracteres, el número y la variedad de problemas y temas no es grande, etc.) impiden generalizar los resultados a toda la población de estudiantes de secundaria o realizar recomendaciones de carácter universal. Pero el hecho de que el presente trabajo replique muchas investigaciones anteriores sobre el efecto de ciertas variables instruccionales sobre la comprensión y el aprendizaje, aumenta la validez del mismo y hace pensar en algunas posibles implicaciones que sería interesante atender en ulteriores investigaciones.

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, así como facilitar la integración de los nuevos conceptos en sus esquemas previos de conocimiento parece ser un objetivo importante 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 la resolución de problemas, confirmando de este modo su efectividad en la ayuda a los estudiantes en la elaboración de modelos mentales. Así, los textos educativos deberían ser tomados como recursos abiertos susceptibles de mejoras por parte de los profesores, que son quienes detectan las carencias de los estudiantes a la hora de hacer uso de los modelos mentales requeridos en

las actividades de aprendizaje. Este trabajo puede ayudar a los profesores a concretar esas mejoras.

Varios estudios, además del nuestro, sugieren que el uso de estrategias instruccionales que tomen como referencia los problemas algorítmicos no es adecuado para la comprensión profunda y aprendizaje significativo de los conceptos. Por ello, nuestro trabajo en el aula debería orientarse hacia tareas de alto nivel cognitivo, como son los problemas que requieran capacidad de análisis y síntesis, llevar a cabo conexiones conceptuales y evaluación de decisiones en situaciones problemáticas que no sean familiares (Zoller et al, 1995). Con todo, los problemas algorítmicos pueden ser útiles para los primeros contactos didácticos con los conceptos y las leyes –sirven de ejemplo y ejercitan al alumno en determinados cálculos o usos de los mismos-, además de facilitar luego la resolución de problemas conceptuales que presentan también demandas procedimentales algorítmicas. Sin embargo, parecen tener escaso valor 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 educativa o incluso en pruebas de tanta trascendencia como las de acceso a la Universidad.

Para acabar, es interesante evaluar la dificultad del enunciado de un problema atendiendo al número de modelos mentales que se han de activar para poder resolverlo. Ello permitiría predecir mejor la dificultad de estos problemas y ejercicios propuestos, y además podría guiar las estrategias didácticas para mejorar los resultados.

Agradecimientos

Los autores quieren mostrar su gratitud hacia el anónimo árbitro de la revista que, con sus acertadas recomendaciones, ha mejorado ostensiblemente el artículo.

Referencias bibliográficas

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.

Buteler, L.; Gangoso, Z.; Brincones, I. y González Martínez, M. (2001). *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 285-295.

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.

Ferguson-Hessler, M.G. y de Jong, T. (1990). Studying Physics Texts: Differences in study processes between good and poor performers, en *Cognition and Instruction*, 7, 41-54.

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.

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

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.

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.

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.

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.

Mayer, R.E. (1992). *Thinking, problem solving and cognition*. New York: Freeman.

Moreira, M.A. y Buchweitz, B.(2000). *Novas estratégias de Ensino e Aprendizagem*. Lisboa: Plátano.

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.(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.

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.

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

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.

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.

Solaz-Portolés, J.J. (1995). Análisis de las interacciones entre variables textuales, conocimiento previo del lector y tareas en el aprendizaje de textos educativos de Física y Química. En P. Cepeda (Ed.). *Escuela y Sociedad. XIII Premios F. Giner de los Ríos a la Innovación Educativa*. Madrid: Fundación Argentaria..

Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, V. (2006a). ¿Podemos predecir el rendimiento de nuestros alumnos en la resolución de problemas?. *Revista de Educación*, 339, 693-710

Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, V. (2006b). Conocimiento previo, modelos mentales y resolución de problemas. Enviado a *Investigações em Ensino de Ciências*.

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.

West, L.H.T. y Pines, A.L. (1985). *Cognitive Structure and conceptual change*. New York: Mc Millan Publishing.

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. 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:

- a) Los átomos son indivisibles.
- b) Los átomos de cada elemento químico se diferencian por su masa.

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

- a) La materia en estado normal es eléctricamente neutra, y simplemente por frotamiento algunas sustancias se cargan positivamente y otras negativamente.
- b) 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 Electroestática, 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 Electroestática, 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.

Anexo II. 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 III. 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?