



Para citar este artículo, le recomendamos el siguiente formato:

Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé, V. (2008). Conocimiento previo, modelos mentales y resolución de problemas. Un estudio con alumnos de bachillerato. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 10 (1). Consultado el día de mes de año en: <http://redie.uabc.mx/vol10/no1/contenido-solaz.html>

Revista Electrónica de Investigación Educativa

Vol. 10, No. 1, 2008

Conocimiento previo, modelos mentales y resolución de problemas. Un estudio con alumnos de bachillerato

Previous Knowledge, Mental Models and Problem Solving. A Study with High School Students

Joan Josep Solaz-Portolés

jjsolpor@telefonica.net

Centro Tomás y Valiente

Universidad Nacional de Educación a Distancia

IES Benaguasil (València)

46180, València, España

Vicent Sanjosé López

vicente.sanjose@uv.es

ERI-Polibienestar

Departamento Didáctica Ciencias Experimentales

Universitat de València

C/ Alcalde Reig, 8. 46006

València, España

(Recibido: 10 de julio de 2007; aceptado para su publicación: 25 de febrero de 2008)

Resumen

En este trabajo se llevó a cabo un experimento, para poner a prueba la teoría de modelos mentales de Johnson-Laird, según la cual los sujetos se clasifican según su conocimiento previo. Los sujetos participantes en el experimento fueron alumnos de bachillerato de un centro educativo de Valencia (España), a quienes se les administró una prueba de resolución de problemas. Los resultados parecen confirmar una relación inversa entre el número de modelos mentales implicados en el problema y el porcentaje que lo resuelve correctamente, tal y como predice la teoría. Además, los sujetos con mayor conocimiento previo, no siempre resuelven significativamente mejor los problemas.

Palabras clave: Procesos cognitivos, estructura del conocimiento, resolución de problemas.

Abstract

In this paper an experiment was carried out to test the theory of mental models of Johnson-Laird, which classifies subjects according to their previous knowledge. The subjects of the experiment were high school students of Valencia (Spain), to whom a problem solving test was administered. The results found seem to confirm that an inverse relation between the number of mental models implied in the problem and the percentage of subjects that solve it correctly, as the theory predicts. Moreover, subjects of higher previous knowledge do not always solve problems significantly better.

Key words: Cognitive processes, structure of knowledge, problem solving.

Introducción

Los trabajos de Santamaría, García-Madruga y Carretero (1996) y García-Madruga, Gutiérrez, Carriedo, Moreno y Johnson-Laird (2002), son dos muestras de investigaciones en el área de la ciencia cognitiva que han puesto de manifiesto la importancia de 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), que se basa en el supuesto de que la mente construye modelos internos del mundo externo y que usa estos modelos para razonar y tomar decisiones. Cada modelo mental representa una posibilidad en el razonamiento y la 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 visibles.

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 destacable 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 es necesario generar dos o tres modelos mentales resultan más difíciles de resolver 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 artículo introductorio donde se enfocan los modelos mentales bajo la óptica de la teoría de Johnson-Laird, pretendió ofrecer una base teórica para analizar los procesos cognitivos implicados en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias (Moreira, 1996). Posteriormente, sobre la base de esta teoría, Greca y Moreira (1998) intentaron 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) insisten 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 lo indispensable que es construir modelos mentales para comprender el funcionamiento de la materia viva. Por último, varios trabajos de esta escuela buscaron 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 2002b; Moreira, Greca y Rodríguez-Palmero, 2002; Rodríguez-Palmero, 2004).

Al centrarnos en la resolución de problemas, es importante indicar que otros psicólogos cognitivos también recurrieron 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 se optimiza para resolver los problemas. Es necesario recordar que el conocimiento declarativo es el saber qué, es decir, se refiere al contenido específico o conocimiento factual dentro de una disciplina o dominio, e incluye hechos, conceptos y principios. Este autor afirma que para resolver problemas es necesario hacer funcionar y reestructurar modelos mentales, y para ello es preciso 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 (lo que incluye 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 para diferentes problemas y contextos.

Los investigadores en el área de la didáctica de las ciencias también fijaron su atención en las representaciones mentales (modelos mentales) que los estudiantes construyen cuando intentan resolver un problema (Bodner y Domin, 2000; Buteler, Gangoso, Brincones, y González Martínez, 2001; Coleoni, Otero, Gangoso, y Hamity, 2001; Otero, Papini y Elichiribehety, 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 modelos mentales correctos para resolver adecuadamente los problemas. Bodner y Domin (2000), señalan que los estudiantes exitosos en la resolución de problemas de química, elaboran en promedio más modelos mentales que los que no lo son. 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).

Dichos resultados son totalmente acordes con los obtenidos por Greca y Moreira (1996 y 1998), que constataron que el mejor desempeño para la solución de los problemas de electromagnetismo se daba en los alumnos que habían formado un modelo mental de campo electromagnético, aproximado al modelo conceptual usado por físicos expertos. En cambio, los alumnos que trabajaron sólo con proposiciones (fórmulas, definiciones y enunciados de leyes) aisladas, y que se limitaron a aplicarlas mecánicamente, tuvieron menor desempeño.

En un artículo reciente (Solaz-Portolés y Sanjosé, 2007) se presentan otras variables cognitivas que resultan ser decisivas en la resolución de problemas. En concreto, en el trabajo de Solaz-Portolés y Sanjosé (2006) 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 el que más contribuye en dicha resolución.

En el presente artículo se muestra un experimento en el que estudiantes, con diferente conocimiento previo, resuelven problemas después de la lectura de un texto. El objetivo es poner a prueba la teoría de modelos mentales y analizar el papel que desempeña el conocimiento previo en la construcción y puesta en funcionamiento de estos modelos.

A tenor de todo el bagaje teórico expuesto, la primera hipótesis es que cuantos más modelos mentales se necesita hacer funcionar a la vez para resolver un problema, tanto más difícil será éste. La segunda 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 para la resolución del problema.

I. Metodología

1.1 Sujetos

En la investigación participaron 85 alumnos de primero de bachillerato (16 años), pertenecientes a un centro público de educación secundaria de la comarca del Camp de Túria, en València, España. De ellos, 43 estudiaban primero de bachillerato durante el ciclo académico 2001-2002; el resto, lo hacía en el curso siguiente (2002-2003). Todo este alumnado cursaba la asignatura de Física y Química, y solamente 2 de ellos no la cursaron como optativa en el curso anterior.

1.2 Materiales

1.2.1 Prueba de conocimiento previo

Con esta prueba se pretendía acceder a la estructura semántica de la memoria o estructura cognitiva de los sujetos. Esto significa que se intentó medir el conocimiento proposicional o conceptual de los sujetos, relativo al tema de *Modelos atómicos*, en el momento de iniciar esta 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 exigen 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 la investigación (no se podían emplear excesivas sesiones por la pérdida de clases convencionales que suponía para los alumnos; se tenían que evitar medidas excesivamente tediosas debido al elevado número de pruebas a corregir, etc.), se decidió utilizar una prueba que no necesitara adiestramiento previo, y que dejara a los estudiantes un margen de

maniobra relativamente amplia para 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 15 conceptos, previamente elegidos por dos profesores de Física y Química (uno de ellos pertenece al grupo de autores de este trabajo), tras un análisis pormenorizado de los contenidos del tema de *Modelos atómicos* (ver Anexo I). Con estos conceptos, se pidió a los sujetos que escribieran de 5 a 10 frases del tamaño que desearan y con los conceptos que estimaran convenientes, tanto si eran de la lista, como si no.

Para la evaluación de la prueba, entre ambos profesores confeccionaron un mapa de asociación de conceptos con todas las relaciones posibles entre los 15 conceptos (los denominados conceptos internos). Asimismo, se incluyó en la evaluación de la prueba, una lista de ocho conceptos llamados conceptos externos (ver Anexo I), por su relevancia en la materia tratada.

El mapa de asociación de conceptos se utilizó para contabilizar las relaciones entre pares de conceptos internos (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.

Si se parte de que ciertos investigadores (Novak, 1988a, 1988b; Chi, Feltovich y Glaser, 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 (CP) podría ser el producto del total de conceptos (internos y externos) 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 tendría el mismo valor), entonces el producto de ambas medidas tiene una dependencia cuadrática con el número de conceptos. Esta dependencia cuadrática puede hacerse lineal si se toma 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, 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 estándar. Los protocolos de conocimiento previo se corrigieron separadamente por dos profesores de Física y Química (uno de ellos pertenece al grupo de autores del presente trabajo), lo que produjo un acuerdo de 92% y resolvió las discrepancias de mutuo acuerdo.

1.2.2 Prueba de resolución de problemas

El propósito de esta prueba fue evaluar la capacidad de los sujetos para transferir y aplicar sus conocimientos a contextos o situaciones nuevas. Se elaboró, para esta prueba, un cuestionario abierto de seis ítems sobre *Modelos atómicos* (ver Anexo II). Cinco de ellos pueden ser considerados como conceptuales (Ítem 2, 3, 4, 5 y 6) y uno algorítmico (Ítem 1). Se consideraron problemas algorítmicos, a los que implican únicamente resolver ecuaciones, aplicar reglas y realizar cálculos. Los problemas conceptuales son los que demandan comprensión de conceptos y razonamiento inferencial.

La cuantificación de la prueba se efectuó mediante una categorización previa de las respuestas 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.

La Tabla I muestra el contenido conceptual y los posibles modelos mentales que se deben ejecutar en la resolución correcta de cada uno de los ítems de esta prueba de resolución de problemas.

Tabla I. Contenido conceptual de cada ítem y modelos mentales a utilizar, como mínimo, en cada uno de ellos

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 (supraíndice) es igual al número de protones más el de neutrones.	-Ningún modelo mental. Sólo representación proposicional. Basta recordar: a) las definiciones de número atómico y másico y, b) cómo se representa un isótopo (átomo).
2	-La experiencia de Rutherford consiste en lanzar partículas cargadas positivamente contra una fina lámina de oro. -La lámina de oro de la experiencia de Rutherford está constituida por una red de átomos de oro. -Los protones se concentran en el núcleo atómico. -Las partículas cargadas del mismo signo se repelen. -Cuando una partícula cargada en movimiento pasa próxima a otra partícula cargada del mismo signo, se	-Modelo de materia compuesta por átomos. -Modelo atómico de Rutherford: protones concentrados en el núcleo junto con los neutrones y electrones que se mueven alrededor. -Modelo de interacción entre cargas y sus efectos sobre las trayectorias. -Modelo de la experiencia de Rutherford (disparo de partículas de carga positiva contra átomos).

	observan cambios en su trayectoria: más cerca implica mayor fuerza de repulsión y mayor desvío de la trayectoria.	
3	<ul style="list-style-type: none"> -Los protones se concentran en el núcleo atómico. -Núcleo atómico muy pequeño, comparado con el átomo. -Los electrones se mueven alrededor del núcleo en un gran espacio vacío. -Los protones son difícilmente accesibles. -Los electrones son fácilmente accesibles. 	<ul style="list-style-type: none"> -Modelo atómico de Rutherford. -Modelo de cómo quitar o añadir electrones al átomo. -Modelo de accesibilidad y manipulación de los electrones y protones del núcleo.
4	<ul style="list-style-type: none"> -La experiencia de Rutherford consiste en lanzar partículas cargadas positivamente contra una fina lámina de oro. -La lámina de oro de la experiencia de Rutherford está constituida por una red de átomos de oro. -Los protones se concentran en el núcleo atómico. -Las partículas cargadas del mismo signo se repelen. -Cuando una partícula cargada en movimiento pasa próxima a otra partícula cargada del mismo signo, se observan cambios en su trayectoria: más cerca implica mayor fuerza de repulsión y mayor desvío de la trayectoria. 	<ul style="list-style-type: none"> -Modelo de materia compuesta por átomos. -Modelo atómico de Rutherford. -Modelo de interacción entre cargas y sus efectos sobre las trayectorias. -Modelo de la experiencia de Rutherford.
5	<ul style="list-style-type: none"> -La experiencia de Rutherford consiste en lanzar partículas cargadas positivamente contra una fina lámina de oro. -La lámina de oro de la experiencia de Rutherford está constituida por una red de átomos de oro. -Los protones se concentran en el núcleo atómico. -Las partículas cargadas del mismo signo se repelen. -Cuando una partícula cargada en movimiento pasa próxima a otra partícula cargada del mismo signo, se observan cambios en su trayectoria: más cerca implica mayor fuerza de repulsión y mayor desvío de la trayectoria. -La carga eléctrica por frotamiento se adquiere porque se ganan o se pierden las partículas más externas de los átomos: los electrones. 	<ul style="list-style-type: none"> -Modelo de materia compuesta por átomos. -Modelo atómico de Rutherford. -Modelo de interacción entre cargas y sus efectos sobre las trayectorias. -Modelo de la experiencia de Rutherford. -Modelo de adquisición de carga por frotamiento. -Modelo de accesibilidad y manipulación de los electrones y protones.
6	<ul style="list-style-type: none"> -El número de protones o número atómico identifica a los átomos de un 	<ul style="list-style-type: none"> -Modelo de elemento químico. -Modelo de isótopo.

	<p>mismo elemento químico. -El número de electrones de un átomo no siempre es el mismo: puede haber 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.</p>	<p>-Modelo atómico de Rutherford. -Modelo de accesibilidad y manipulación de los electrones. -Modelo de adquisición de carga (por ganancia o pérdida de electrones).</p>
--	---	--

1.3 Procedimiento

Se utilizaron dos sesiones. La primera, de 30 minutos aproximadamente y la segunda, de 55 minutos. En la primera sesión, se avisó a los estudiantes que participarían 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, el texto fue distribuido entre los sujetos participantes. A continuación, los estudiantes leyeron el texto durante 22 minutos; después, se retiró el texto y se efectuó la prueba de resolución de problemas (20 minutos, aproximadamente). Entre la lectura del texto y la prueba medió un lapso de 3 minutos, donde los estudiantes llevaron a cabo tareas distractoras. El tiempo fue suficiente para todos ellos.

II. Resultados

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

Tabla II. Estadística descriptiva de la variable conocimiento previo

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

A partir de estos resultados de la prueba de conocimiento previo, clasificamos a los estudiantes en dos grupos: conocimiento previo alto y conocimiento previo bajo. Los primeros, un total de 43 sujetos, fueron aquellos que obtuvieron una puntuación igual o superior a 9.3 en la prueba. En el segundo, de 42 sujetos, los alumnos no alcanzaron dicha puntuación.

La Figura 1 muestra el porcentaje de sujetos que respondió correctamente en cada ítem.

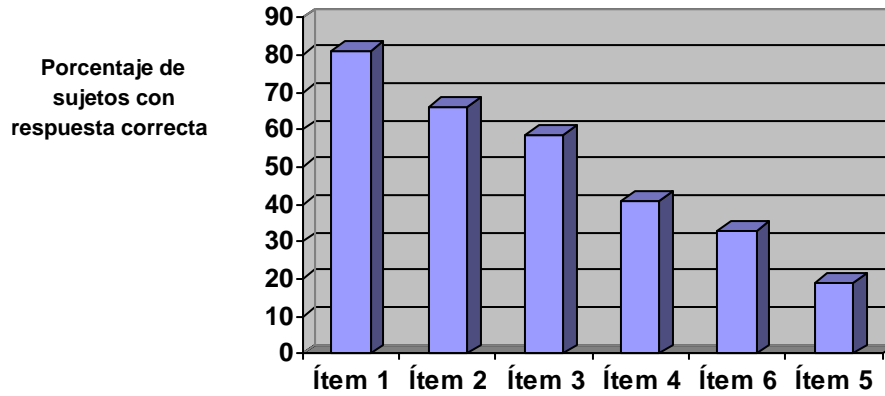


Figura 1. Porcentaje de sujetos que respondió correctamente cada uno de los ítems

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

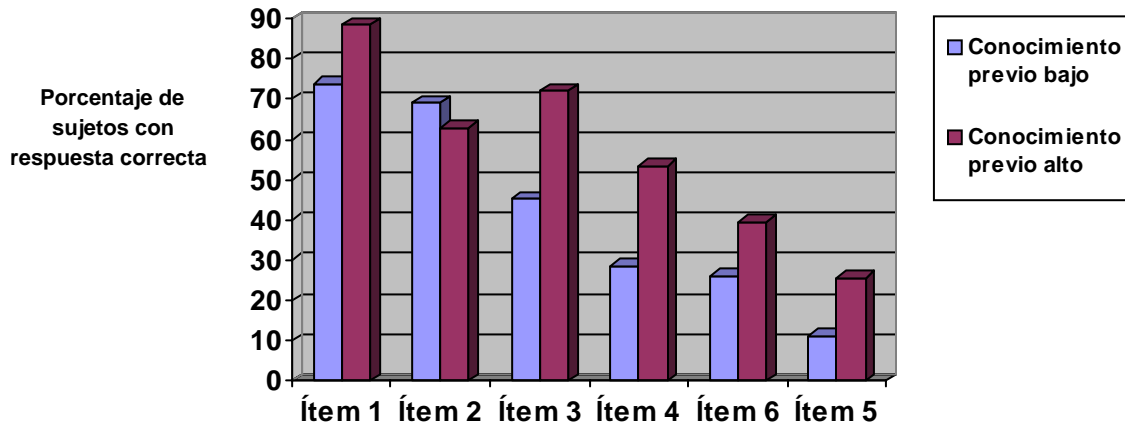


Figura 2. Porcentaje de sujetos que respondió correctamente en cada uno de los ítems, según su conocimiento previo

La Figura 3 ilustra la relación número de sujetos de conocimiento previo alto/número de sujetos de conocimiento previo bajo, para los sujetos que respondieron correctamente cada ítem.

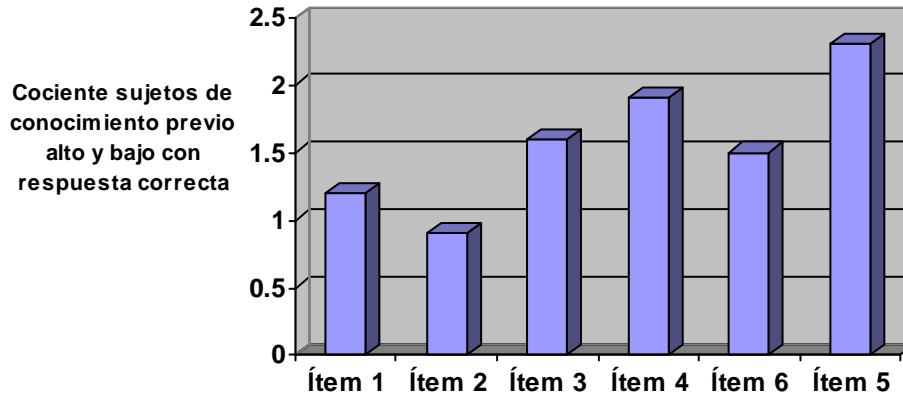


Figura 3. Cociente entre el número de sujetos con conocimiento previo alto y bajo, que respondió correctamente cada uno de los ítems

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 el Ítem 3 y el Ítem 4. En concreto, proporciona 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 con su éxito en la resolución de tales problemas.

III. Discusión

La Figura 1 constata que cuantos más modelos mentales sea necesario ejecutar, tanto más difícil es la solución de un problema y un menor porcentaje de sujetos lo resuelven adecuadamente. Así, el Ítem 1 (algorítmico), que no requiere de un modelo mental para ser resuelto (ver Tabla I), sólo de 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 para su resolución, la ejecución de dos a cuatro modelos mentales (ver Tabla I). Finalmente, los ítems 5 y 6 (con porcentajes de éxito 18.8% y 33%, respectivamente) precisan tener en funcionamiento para ser resueltos, al menos seis y cinco modelos mentales, respectivamente (ver Tabla I).

Como puede verse, y en completo acuerdo con los presupuestos de la teoría de modelos mentales (Johnson-Laird y Bara, 1984) y con nuestra primera hipótesis, existe una relación inversa entre el número mínimo de modelos implicados en la resolución correcta de un problema y el porcentaje de estudiantes que lo resuelven correctamente: a mayor cantidad de modelos mentales necesarios en

funcionamiento para la resolución de un problema, 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 no se consideró en este análisis. 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, la Figura 2 y la Figura 3, parecen sugerir que a medida que aumenta la dificultad de un problema, la influencia del conocimiento previo en su resolución es 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 que la variable conocimiento previo únicamente genera diferencias significativas entre sujetos con diferente conocimiento previo cuando los problemas no son ni muy fáciles ni muy difíciles. Esto significa que sólo cuando se resuelven problemas en los que se ejecutan pocos modelos mentales (de dos a cuatro), el conocimiento previo de los sujetos discrimina al momento de resolverlos con éxito. Por consiguiente, este resultado matiza la segunda hipótesis del estudio y delimita claramente el papel del conocimiento previo en la resolución de problemas.

Finalmente, se analizarán 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 resuelven correctamente 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, al menos, de cinco a seis 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 (Johnstone y El-Banna, 1986; Johnstone, Hogg y Ziane, 1993; Níaz, 1987). Este hecho podría explicar que la mayoría de los estudiantes participantes en este estudio, independientemente de su conocimiento previo, fracasasen en la resolución del Ítem 5 y del Ítem 6 de la prueba, pues son incapaces de procesar simultáneamente la información necesaria para mantener al mismo tiempo, tantos modelos mentales en ejecución.

IV. Implicaciones didácticas

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 a todos los alumnos, antes de iniciar el desarrollo de una unidad didáctica (secuencia de prerrequisitos de aprendizaje). Esto permitiría al alumnado abordar con eficacia las diferentes actividades de aprendizaje, especialmente las de resolución de problemas.

No se puede dejar de hacer una recomendación al profesorado: la necesidad de evaluar la dificultad del enunciado de un problema, de acuerdo con el número de modelos mentales que se han de activar para poder resolverlo. Esto conlleva a efectuar un análisis previo de la situación educativa: qué información se ha de proporcionar, a qué alumnos va destinado, en qué fase del diseño curricular se propone, etc. En este punto, destaca un tipo de problema que suele aparecer con excesiva profusión en los textos con finalidad pedagógica y que es utilizado en demasía en la evaluación del aprendizaje: los problemas algorítmicos. Estos problemas, normalmente, no suelen requerir por parte del alumno, modelo mental alguno y, consecuentemente, tienen poco valor como indicadores de comprensión de conceptos. No obstante, no se pueden descartar taxativamente como herramientas útiles en determinadas situaciones educativas.

Por último, hay que recordar que 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). Por otra parte, no se pueden pasar por alto 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, Cuerva, Moya y Otero, 1998).

Referencias

Anderson, J. (1995). *Learning and memory: An integrated approach*. Nueva 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.

Campanario, J. M., Cuerva, J., Moya, A. y 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, pp. 36-44). Murcia: Editorial Diego Marín.

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). Consultado el 20 de septiembre de 2006 en: <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.

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.

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). Consultado el 1 de noviembre de 2006 en: <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). Consultado el 22 de octubre de 2006 en: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Hegarty-Harzel, E. y Prosser, M. (1991). Relationship between students' conceptual knowledge and study strategies, part 1: students learning in physics. *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: Cambridge University Press.

Johnson-Laird, P. N. (1990). Mental models. En M. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science* (pp. 469-499). Cambridge, MA, Estados Unidos: 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 University Press.

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: Univesidad Nacional de Educación a Distancia.

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.

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

Moreira, M. A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1 (3). Consultado el 30 de septiembre de 2006 en: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Moreira, M. A. y 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.

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. 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). Consultado el 5 de octubre de 2006 en: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Rodríguez-Palmero, M. L. (2004). La teoría del aprendizaje significativo. En A. J. Cañas, J. D. Novak y F. M. González (Eds.), *Proceedings of the First Conference on Concept Mapping*. Pamplona, España.

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). Consultado el 20 de octubre de 2006 en: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.

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.

Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé, V. (2006). ¿Podemos predecir el rendimiento de nuestros alumnos en la resolución de problemas? *Revista de Educación*, 339, 693-710. Consultado el 2 de octubre de 2006 en: <http://www.revistaeducacion.mec.es/re339.htm>

Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé, V. (2007). Cognitive variables in science problem solving: A review of research. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 4 (2), 25-33. Consultado el 5 de mayo de 2007 en [http://www.phy.ilstu.edu./jpteo/issues/jpteo4\(2\)win07.pdf](http://www.phy.ilstu.edu./jpteo/issues/jpteo4(2)win07.pdf)

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

Anexo I. Conceptos internos y externos de la Prueba de conocimiento previo

Conceptos internos (los que se proporcionan al estudiante): 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, carga positiva, carga negativa, carga nula, tamaño, vacío, isótopo.

Anexo II. Prueba de resolución de problemas

Indica qué partículas subatómicas están presentes en el átomo ${}_{13}^{27}\text{Al}$.

¿A qué se debe que unas partículas positivas (los proyectiles) se desvíen más que otras en la experiencia de Rutherford?

¿Por qué resulta más fácil arrancar o añadir electrones que protones en un átomo?

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?

Haciendo uso del modelo que acabas de proponer, ¿cómo explicarías una experiencia de electrificación por frotamiento?

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?