

revista de **e**EDUCACIÓN

Nº 339 ENERO-ABRIL 2006

¿Podemos predecir el rendimiento de nuestros alumnos
en la resolución de problemas?

Joan Josep Solaz-Portolés
Vincent Sanjosé López



¿Podemos predecir el rendimiento de nuestros alumnos en la resolución de problemas?

Joan Josep Solaz-Portolés

IES Benaguasil (Valencia) y C A Francisco Tomás y Valiente de la UNED (Valencia)

jjsolpor@telefonica.net

Vicent Sanjosé López

Departament de Didáctica Ciències Experimentals i Socials

Universitat de València

vicente.sanjose@uv.es

Resumen:

En el presente trabajo se analiza el papel que desempeñan las variables conocimiento previo, estrategias de estudio y conocimiento conceptual en la resolución de problemas. La muestra estuvo compuesta por ochenta y cinco alumnos de primero de Bachillerato que cursaban la asignatura de Física y Química. 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.

Palabras clave: aprendizaje de ciencias, predictores, resolución de problemas, rendimiento académico, conocimiento previo, conocimiento conceptual, estrategias de aprendizaje.

Abstract: *Is it Possible to Predict our Students' Achievement Regarding Problem Resolution Procedures?*

This study deals with the role of variables such as previous knowledge, study strategies and conceptual knowledge as regards problem resolution. The sample to be analysed comprised 85 students of first year of Baccalaureate who chose Physics and Chemistry as one of the subjects to be studied. The outcomes, which were obtained from the implementation of three different types of statistic analysis (correlation among variables, multiple regression analysis and stepwise regression analysis), come to demonstrate that the three variables which have just been mentioned have a significant statistical influence on the success of problem resolution procedures. Apart from the three variables, conceptual knowledge has come to prove that it is the one which has a major influence on those resolution procedures.

Key words: science learning, predictors, problem solving, academic achievement, previous knowledge, concept knowledge, learning strategies.

¿PODEMOS PREDECIR EL RENDIMIENTO DE NUESTROS ALUMNOS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS?

INTRODUCCIÓN

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.

De estas seis variables que influyen de manera crucial en la resolución de problemas, 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 objetivo del presente estudio es examinar la contribución a la resolución de problemas del conocimiento previo, las estrategias de estudio y el conocimiento conceptual. Más en concreto, pretendemos hallar la relación de las tres variables y la resolución de problemas, y comprobar el carácter predictivo de éstas.

METODOLOGÍA

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. 43 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.

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 1º 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 15 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 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 15 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 ana-

lizado: $C.P. = \sqrt{\text{conceptos} \times \text{relaciones}}$. 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 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 II). En segundo lugar, se categorizaron las ideas de los protocolos de los estudiantes, observándose que seis de las nueve ideas (ideas dos, cuatro, seis, siete, ocho y nueve) podían presentarse bien completas, tal y como las habíamos formulado en el Anexo II, 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 uno, tres, y cinco del Anexo II) 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 III), tres de los cuales fueron de resolución de problemas, dos de tipo heurístico (ítems cuatro y cinco) y uno de tipo algorítmico (ítem uno), y los otros tres ítems fueron de inferencia textual (ítems dos, tres y seis). 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 uno/cero. El acuerdo interjueces fue del 96%.

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 50 y una de veinte. La primera sesión se desarrolló en los últimos 20 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 25. 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.

RESULTADOS

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

TABLA I
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)	9,3	3,4	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 II 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 II.
Coefficientes 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	0,30*
Estrategias de Estudio (EE)		1,00	0,29*	0,38*
Conocimiento Conceptual(CC)			1,00	0,43*
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 III 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:

$RP = 0,18 + 0,11 CP + 0,22 EE + 0,06 CC$ (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 III

Coefficientes del análisis de regresión múltiple para la predicción del rendimiento en la resolución de problemas con su significación estadística

	Coefficiente de Regresión (b)	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 II). 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 IV 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 IV, el R² 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 R² de 0,05.

TABLA IV

Resultados del análisis de regresión stepwise para la predicción del rendimiento en la resolución de problemas

Número del Paso	Variable de entrada	R² (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

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 III 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 II) y del análisis de regresión paso a paso (*stepwise*, ver Tabla IV), 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 del 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 y 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 II 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.

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 prerrequisitos 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, el libro de texto puede desempeñar un importante papel. De hecho, en otras investigaciones hemos comprobado cómo ciertas modificaciones textuales pueden conducir a una mejora significativa en el conocimiento conceptual y en la resolución de problemas (Sanjosé et al., 1993; Solaz-Portolés, 1995; Solaz-Portolés y Sanjosé 2005). 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).

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

Ideas principales

La materia está compuesta por átomos.

El átomo, por ser neutro, tiene igual número de cargas negativas (electrones) que de positivas (protones).

Los modelos atómicos sirven para explicar y predecir los hechos experimentales concernientes al átomo.

La masa y la carga positiva del átomo se concentra en el núcleo, la carga negativa envuelve a éste.

El átomo es hueco (vacío) en su mayor parte.

El número atómico o número de protones del núcleo caracteriza a un elemento del sistema periódico.

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.

Los átomos se representan mediante su símbolo, el número de protones como subíndice y el número de protones más el de neutrones como supraíndice: ${}_p^{p+n}X$

El átomo está constituido por un núcleo diminuto de protones y neutrones, y por electrones moviéndose en un gran volumen vacío.

ANEXO III

Prueba de resolución de problemas

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

¿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?. ¿Por qué?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROWN, A. L.; DAY, J. D.; JONES, R. S. (1983): «The development of plans for summarizing texts», en *Child Development*, 54, pp. 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», en *Journal of Chemical Education*, 70, pp. 183-187.
- CAMPANARIO, J. M.; CUERVA, J.; MOYA, A.; OTERO, J. (1998): «La metacognición y el aprendizaje de las ciencias», en BANET, E. Y DE PRO, A. (Eds.): *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias*. Murcia, DM , Vol I, pp. 36-44..
- CAREY, S. (1986): «Cognitive Science and Science Education», en *American Psychologist*, 41, pp. 1123-1130.
- CHANDRAN, S.; TREGUST, D. F.; TOBIN, K. (1987): «The role of cognitive factors in chemistry achievement», en *Journal of Research in Science Teaching*, 24, pp. 145-160.
- CHI, M. T. H.; FELTOVICH, P. J.; GLASER, R. (1981): «Categorization and representation of physics problem by experts and novices», en *Cognitive Science*, 5, pp. 121-151.
- 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.
- DAWSON, C. (1993): «Chemistry in concept», en *Education in Chemistry*, 30, pp.73-75.
- DE JONG, T.; FERGUSON-HESSLER, M.G.M. (1986): «Cognitive structures of good and poor novice problem solvers in physics», en *Journal of Educational Psychology*, 78, pp.279-288.
- 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,.
- FERGUSON-HESSLER, M.G. ; DE JONG, T. (1987): «On the quality of knowledge in the field of electricity and magnetism», en *American Journal of Physics*, 55, pp. 492-497.
- FERGUSON-HESSLER, M. G.; DE JONG, T. (1990): «Studying Physics Texts: Differences in study processes between good and poor performers», en *Cognition and Instruction*, 7, pp. 41-54.
- GUTIÉRREZ, R. (1987): «El desarrollo mental» en MARCO, B.; OLIVARES, E.; USABIAGA, C.; Serrano, T. y Gutiérrez, R.: *La enseñanza de las ciencias experimentales*. Madrid, Nancea.
- HEGARTY-HARZEL, E.; PROSSER, M. (1991): «Relationship between students' conceptual knowledge and study strategies- part 1: students learning in physics», en *International Journal of Science Education*, 13, pp. 303-312.
- HERRON, J. D. (1978): «Role of learning and development: critique of Novak's comparison of Ausubel and Piaget», en *Science Education*, 62, pp. 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.
- JOHNSTONE, A. H.; EL-BANNA, H. (1986): «Capacities, demands and processes – a predictive model for science education», en *Education in Chemistry*, 23, pp. 80-84.
- JOHNSTONE, A. H.; HOGG, W. R.; ZIANE M. (1993): A working memory model applied to physics problem solving, en *International Journal of Science Education*, 15, pp. 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», en *Enseñanza de las Ciencias*, 4, pp.99-110.
- KEMPA, R.F. (1991): «Students' learning difficulties in Science. Causes and possible remedies», en *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp.119-128.
- KEMPA, R. F.; NICHOLLS, C.E. (1983): «Problem-solving ability and Cognitive Structure: An exploratory investigation», en *European Journal of Science Education*, 5, pp.171-184.
- KERLINGER, F.; PEDHAZUR, E. (1973) : *Multiple Regression Behavioral Research*. New York, Holt, Rinehart and Winston.
- LANG DE SILVEIRA, F.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. (1992a): «Habilidad en preguntas conceptuales y en resolución de problemas de Física», en *Enseñanza de las Ciencias*, 10, pp. 58-63.
- (1992b): «Estructura interna de testes de conhecimento em Física: Um exemplo em mecânica», en *Enseñanza de las Ciencias*, 10, pp.187-194.
- LAWSON, A. E. (1983) : «Predicting science achievement. The role of developmental level, disembedding ability, mental capacity, prior knowledge and belief», en *Journal of Research in Science Teaching*, 20, pp. 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», en *Science Education*, 80, pp. 691-710.
- (2001): *The predicting role of cognitive variables in problem solving in mole concept*, en *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, (CERAPIE), 2, pp. 285-301.
- MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B.(2000): *Novas estratégias de Ensino e Aprendizagem*. Lisboa, Plátano.
- MEYER, B. J. F. (1984): «Text dimensions and cognitive processing», en H. MANDL, N. STEIN Y T. TRABASSO (eds.): *Learning from texts*. Hillsdale, Erlbaum.
- NETO, A. J. (1991): «Factores psicológicos de insucesso na resolução de problemas de Física: Uma amostra significativa», en *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp. 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», en *Journal of Chemical Education*, 64, pp.502-505.

- NOVAK, J. D. (1988a): «Constructivismo humano: Un consenso emergente», en *Enseñanza de las Ciencias*, 6, pp. 213-223.
- (1988b). *Learning Science and the Science of Learning*, en *Studies in Science Education*, 15 (1988b), pp.77-101.
- (1991): «Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender. La opinión de un profesor-investigador», en *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp. 215-228.
- (1999): *Aprendiendo a aprender*. Barcelona, Martínez Roca.
- ROBINSON, W. R.; NÍAZ, M. (1991): «Performance based on instruction by lecture or by interaction and its relationship to cognitive variables», en *International Journal of Science Education*, 13, pp. 203-215.
- SANJOSÉ, V.; SOLAZ-PORTOLÉS, J.J.; VIDAL-ABARCA, E. (1993): «Mejorando la efectividad instruccional del texto educativo en ciencias: Primeros resultados», en *Enseñanza de las Ciencias*, 11, pp. 137-148.
- SCARDAMALIA, M.; BEREITER, C. (1984): «Development of strategies in text processing» En H. NANDL, N.L. STEIN Y T. TRABASSO (eds.): *Learning and Comprehension Text*. Hillsdale, Erlbaum.
- 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.; SANJOSÉ, V (2005): «Problemas algorítmicos y conceptuales: Influencia de algunas variables instruccionales», en proceso de revisión en *Educación Química*.
- STEWART, J.(1980): «Techniques for asesing and representing information in cognitive structure», en *Science Education*, 64, pp. 223-235.
- 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», en *Educación Química*, 11, pp. 228-235.
- 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*, New York, MacMillan, pp. 177-210.
- WEST, L.H.T.; 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», en *International Journal of Science Education*, 11, pp. 227-234.