

DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHMORE, P.; WOOD-ROBINSON, V., *Making sense of secondary science*. London: Routledge, 1994.

Full Option Science System (FOSS). Nashua, NH: Delta Education, 2003.

GABEL, D.L., What High School Chemistry Texts Do Well and What They Do Poorly, *Journal of Chemical Education*, **60**, 893-895, 1983.

GABEL, D., *Solving Chemistry Problems: A Student's Illustrated Guide to Applying the Mole Concept*, Cebco Standard Publishing: Fairfield, NJ, 1983.

GABEL, D.; SHERWOOD, R.D., Facilitating problem solving in high school chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, **20**, 163-177, 1983.

GABEL, D.L.; SHERWOOD, R.D.; ENOCHS, L., Problem-solving skills of high school chemistry students, *Journal of Research in Science Teaching*, **21**, 221-233, 1984.

GABEL, D.L.: Let Us Go Back to Nature Study, *Journal of Chemical Education*, **66**, 727-729, 1989.

GABEL, D.L., The use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding, *Journal of Chemical Education*, **70**, 193-194, 1993.

GABEL, D.L. (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York: Macmillan, 1994.

GABEL, D.L., Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future, *Journal of Chemical Education*, **76**, 548-554, 1999.

GABEL, D.L.; HITT, A.; YANG, L., Changing prospective teachers' understanding of the macroscopic, particulate, and symbolic representations of matter using Play-Doh models. Paper presented at the meeting of National Association for Research in

Science Teaching, Philadelphia, March 2003.

GABEL, D.L., J. Dudley Herron – Mentor, Friend, and Colleague: The Early Years. Paper presented at the 217th American Chemical Society Meeting, Anaheim, CA, March 2, 1999.

GABEL, D.L.; WOZNIEWSKI, L.; CARDELLINI, L., College students' understanding of matter on the macroscopic, particulate, and symbolic levels, work in progress.

HERRON, J.D.; KUKLA, D.A.; SCHRADER, C.L.; DISPEZIO, M.A.; ERICKSON, J.L.: *Heath Chemistry*, Lexington, MA: D. C. Heath, 1987.

JOHNSTONE, A.H., Fashions, fads, and facts in chemistry education, Paper presented at the meeting of the American Chemical Society, Washington, DC., September 1990.

National Science Education Standards, Washington, DC, National Academy Press, 1995.

Science in Focus, Shedding Light on Science, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 1999. Online at <http://www.learner.org/resources/series118.html>. Available from Annenberg/CPB.

WALTERS, M., Teaching Chemistry Using Play-Doh, Poster session presented at the Gordon Conference, Mount Holyoke, MA, August, 1993.

With the permission from *La Chimica nella Scuola*, **XXIII**, [5], 165-168, 2001; published in Italian.

Received 15.04.2004 / Approved 24.09.2004

La comprensión de las propiedades físicas de la materia: motivación y cambio conceptual

The understanding of physical properties of matter: motivation and conceptual change

ALFREDO GOÑI GRANDMONTAGNE ¹, JOSÉ DOMINGO VILLARROEL VILLAMOR ²

¹ Departamento de Psicología Evolutiva y de la Educación. Universidad del País Vasco, España, aralfredo@euskalnet.net

² Colegio La Salle, Bilbao, mintxo@teleline.es

Resumen

Para adquirir el conocimiento científico es preciso que se produzca, de una u otra forma, algún cambio conceptual. El cambio desde las teorías personales (basadas en representaciones macroscópicas que se atienen a la descripción de hechos y fenómenos experimentales observables) a la teoría científica (basada en representaciones microscópicas vinculadas a la comprensión de teorías químicas abstractas) ni es simple ni exclusivamente cognitivo. Al objeto de superar el modelo del "cambio conceptual frío", PINTRICH, MARX y BOYLE (1993) propusieron indagar las eventuales relaciones entre variables motivacionales y cognitivas. Este trabajo aporta corroboración empírica que, en una muestra de 202 alumnos de enseñanza secundaria obligatoria, la motivación y la comprensión científica de las propiedades físicas de la materia guardan relación mutua.

Palabras clave: creencias motivacionales, cambio conceptual, naturaleza de la materia, enseñanza secundaria, química.

Abstract

Acquiring scientific knowledge requires in some way some conceptual change. However, the change from personal theories (based on macroscopic representations which deal with describing observable phenomena on a experimental basis) to the scientific theory (based on microscopic representations related to the understanding of abstract chemical theories) is neither simple nor exclusively cognitive. With the purpose of overcoming the model of "cold conceptual change," PINTRICH, MARX and BOYLE (1993) proposed to analyze the possible relationships between motivation and cognitive variables. This research provides empirical information about the following subject: the assessment was done in a sample of 202 students from obligatory secondary education, and the conclusion was that the motivation and the acquisition of scientific knowledge are connected to each other.

Key words: motivational beliefs, conceptual change, nature of matter, secondary school, chemistry.

INTRODUCCIÓN

Durante la etapa de la Educación Secundaria Obligatoria, uno de los aspectos fundamentales de la enseñanza de la química es el estudio de las

características de los sistemas materiales y de las transformaciones que éstos pueden sufrir sin cambiar su esencia molecular (BENARROCH, 2000; CAAMAÑO, 2000; POZO, 1998). Las transformaciones físicas de los sistemas materiales incluyen procesos de agregación de la materia y fenómenos como los de dilatación, contracción, expansión o compresión. Los estudiantes deben entender que, más allá de las apariencias externas, la materia es discontinua ya que está compuesta por partículas (moléculas, átomos, etc...) que están en continuo movimiento. Tales partículas interactúan de distintas maneras en cada uno de los estados (gaseoso, líquido y sólido) en los que la materia puede aparecer, estados que, más allá de las diferencias observables entre ellos, comparten la misma composición química.

Sin embargo, tras estudiar química durante la enseñanza secundaria e incluso durante la universitaria, muchos estudiantes siguen manteniendo una representación intuitiva de la materia. Como ocurre en otros dominios científicos, la mayoría de los estudiantes no rempazan sus teorías personales por la teoría científica que les han enseñado; en lugar de representaciones microscópicas sobre el movimiento de las partículas, mantienen una representación macroscópica sustentada en la apariencia inmediata de la realidad entendiendo la materia como continua, estática y sin espacios vacíos entre las partículas. La causa de ello es que el aprendiz, enfrentado al esfuerzo cognitivo de organizar el conocimiento científico, suele preferir utilizar el conocimiento desarrollado con la finalidad de dar sentido a su experiencia diaria (PRIETO y BLANCO, 2000; POZO, 1998).

La investigación sobre el cambio conceptual conforma una tradición con una antigüedad de bastantes años. Aborda una temática que no es precisamente simple ni cabe reducirla a saber si tiene lugar o no la sustitución de las teorías personales por las teorías científicas. Puede suceder, en muchos casos, que coexistan representaciones macroscópicas y microscópicas, activándose unas u otras en función de las tareas, de los contenidos o de determinadas variables contextuales. Puede ocurrir, incluso, que se aplique de forma confusa la teoría corpuscular de la materia o que se mezclen interpretaciones microscópicas y descripciones macroscópicas atribuyendo a las primeras determinadas características (color, textura, estado físico, dilatación, etc.) que son propias de los sistemas materiales macroscópicos (POZO, GÓMEZ y SANZ, 1999).

Esta línea de investigación, en definitiva, permanece abierta, con temáticas

aún pendientes por clarificar entre las que figura, por ejemplo, la del porcentaje de sujetos que, tras haber estudiado ciencias, hace uso de las representaciones microscópicas: aun cuando algunos estudios (VILLARROEL, 2000) sitúan en torno al 40% el número de alumnos y alumnas de Segundo Ciclo de Enseñanza Obligatoria que utilizan dichas representaciones, no se puede aceptar esta cifra como definitiva pues no coincide con otras afirmaciones (Pozo *et. al.*, 1999).

Pero más relevante aun es el hecho que la teoría del cambio conceptual se está abriendo a nuevas perspectivas (SCHNOTZ, VOSNIADOU y CARRETERO, 1999) entre las que destaca el empeño por superar la concepción tradicional del cambio conceptual como “cognición fría”. Lo que PINTRICH, MARX y BOYLE (1993) pretenden enfatizar con esta metáfora térmica son las indudables influencias que factores de índole afectiva, motivacional y social ejercen presumiblemente sobre los procesos de cambio conceptual. Las creencias motivacionales acerca de uno mismo y del aprendizaje pueden actuar como “presuposiciones” que faciliten o restrinjan el cambio conceptual; los sentimientos que el individuo alberga en cuanto a su capacidad para enfrentarse a la tarea de aprender, las presunciones que tiene sobre la importancia de dicha tarea o las razones a las que recurre para justificar la continuidad o interrupción de un determinado proceso cognitivo, son creencias que pueden constreñir o estimular los cambios conceptuales necesarios para adquirir el conocimiento científico (PINTRICH, 1999).

Cierto es que apenas se ha investigado sobre las relaciones entre motivación y cambio conceptual. Pero existen, cuando menos, numerosos estudios empíricos sobre las relaciones entre la motivación, las estrategias de aprendizaje y el rendimiento académico. Este tipo de investigación ha recurrido sobre todo a cuestionarios de autoinforme entre los que destaca el *Motivational Strategies for Learning Questionnaire* (MSLQ), de PINTRICH, SMITH, GARCÍA y McKEACHIE (1991), traducido y validado en castellano (ROCES, TOURON y GONZÁLEZ, 1995) como *Cuestionario de estrategias de aprendizaje y motivación* (CEAM II). De las dos partes del CEAM, interesa aquí la referida a la motivación, compuesta de las siguientes subescalas (ROCES, 1995):

La *autoeficacia para el aprendizaje y el rendimiento* se refiere a las creencias de los estudiantes sobre su propia capacidad para afrontar las asignaturas mientras que la *ansiedad* se refiere a los pensamientos negativos y reacciones fisiológicas de los alumnos durante los exámenes. El *valor de la tarea* refleja su opinión sobre la importancia de las asignaturas. *Creencias de control del aprendizaje* refleja hasta qué punto el estudiante cree que su dominio de las asignaturas depende de su propio esfuerzo y de su modo de estudiar. La *orientación a metas intrínsecas* y la *orientación a metas extrínsecas* indican la distinta naturaleza de los motivos que impulsan al estudiante a tomar parte en una tarea.

En algunos estudios se ofrece un índice general de *motivación* obtenido como valor medio de cinco de las anteriores subescalas, exceptuada la puntuación en *ansiedad* dado que el sentido de esta última previsiblemente es de signo inverso al resto de las variables.

Son de gran interés los resultados obtenidos al relacionar las puntuaciones obtenidas en este cuestionario con el rendimiento académico (PINTRICH, 1989; PINTRICH y DeGROOT, 1990; PINTRICH y GARCÍA, 1991; ROCES, 1995; ROCES *et. al.*, 1999). Pero nos importa ahora más el que se hayan identificado (PINTRICH, 1999) fuertes relaciones entre los componentes motivacionales de la escala *Motivational Strategies for Learning Questionnaire* (MSLQ) y el uso de estrategias de aprendizaje ya que esta constatación sirve de sustento a la presunción que debe existir relación entre el cambio conceptual y la motivación. La lógica de la argumentación resulta impecable: a mayor motivación, mayor activación de estrategias de aprendizaje; siendo así que las posibilidades de un auténtico cambio conceptual se incrementan a la par que se activa un mayor número de estrategias de aprendizaje, la conclusión es que el cambio conceptual y la motivación se reclaman mutuamente. Ahora bien, esta última aseveración, no dejando de ser una deducción razonable, no ha sido verificada empíricamente.

Reclamaban atención PINTRICH y colaboradores, en su citado artículo del año 1993, a las previsibles relaciones del cambio conceptual con la motivación. Pero ya entonces denunciaban la ausencia de investigación previa:

“Research on students’ conceptual change has never explicitly examined the role of an individual’s motivational belief. Accordingly... there is virtually none on motivation and conceptual change” (PINTRICH, MARX AND BOYLE, 1993, p. 169).

Esta situación no ha variado sustancialmente en los últimos años (PINTRICH, 1999). No existe, que sepamos, ningún estudio que haya tratado de recabar datos empíricos que identifiquen una eventual relación entre lo motivacional

y el cambio conceptual. Y esta situación ha sido precisamente uno de los alicientes que guió la realización del estudio que a continuación se presenta.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El primer objetivo de esta investigación consistía en aportar nueva información sobre el número de estudiantes que recurren al conocimiento científico para explicar los fenómenos físicos. En la investigación previa se observa falta de coincidencia a este respecto. En esta ocasión los datos se recogen inmediatamente después que los alumnos hayan recibido instrucción escolar específica sobre las propiedades físicas de la materia, sobre su naturaleza corpuscular. Por ello, cabe esperar que el número de sujetos capaces de usar correctamente las representaciones microscópicas de la materia sea superior al hallado en anteriores estudios.

En segundo lugar, se trataba de verificar la existencia de relación entre la comprensión de la estructura de la materia a escala microscópica y la motivación de los estudiantes. Es ésta una hipótesis razonable, como queda anteriormente comentado. En investigaciones previas se ha comprobado la relación existente, por un lado, entre motivación y estrategias cognitivas y, por otro lado, entre activación de estrategias y aprendizaje significativo. Sin embargo, la hipótesis aquí planteada no cuenta hasta ahora con el soporte de datos empíricos que la avalen.

MÉTODO

Durante un trimestre del curso escolar 1999-2000, el alumnado de primer ciclo de Educación Secundaria Obligatoria de un colegio de Bilbao recibió instrucción sobre las propiedades físicas de la materia siendo un mismo profesor el que explicó el tema a todas las clases. Para la instrucción de este tema se elaboró una unidad didáctica que, partiendo de los preconceptos que los alumnos tienen sobre el particular (DRIVER *et. al.*, 1994), insiste en diferenciar dos modos de referirse a la materia: como descripción de observaciones experimentales (nivel macroscópico) y como inferencia sobre el comportamiento de las partículas que la componen (interpretación microscópica acorde con la teoría cinético molecular).

Participaron en este estudio 202 estudiantes del colegio La Salle Santiago Apóstol de Bilbao, 97 chicas y 105 chicos.

Para la medición de las variables motivacionales se empleó el cuestionario CEAM II, anteriormente descrito. La escala motivacional del CEAM II consta de 31 ítemes que los alumnos deben responder con arreglo a una formulación tipo Likert de 7 puntos.

Y con el fin de evaluar el nivel de comprensión de las propiedades físicas de la materia se diseñó un cuestionario, siguiendo las características del desarrollado por Pozo *et. al.* (1999). La complementación de esta prueba se realizó en aproximadamente media hora. Las 20 preguntas que la componen plantean tres tipos de tareas que se diferencian entre sí por el contexto en el que se presentan los diversos fenómenos relacionados con la naturaleza de la materia.

La primera tarea, de 4 preguntas de respuesta libre, requiere explicar el porqué de cuatro sucesos de la vida cotidiana. Se pregunta, por ejemplo: “si aspiras por un tubo (como si tomaras un refresco) podrás sostener un trozo de papel que cuelga en el extremo opuesto, ¿por qué crees que ocurre esto?”. En el enunciado de estas preguntas se ha obviado toda terminología científica.

La segunda tarea consiste en ocho preguntas de opción múltiple, presentadas siempre según una misma secuencia. Cada una de las preguntas ofrece cuatro respuestas de las que únicamente hay que elegir una, aquella que supuestamente mejor sirve para interpretar el fenómeno planteado. Una de las preguntas, por ejemplo, se formula así: “si echas una cucharada de azúcar en un vaso de agua, en unos momentos el agua adquiere un sabor dulce: ¿por qué crees que ocurre esto?”. Y se ofrecen las siguientes alternativas: a. porque el azúcar se ha mezclado con el agua y de este modo aparece el sabor dulce (respuesta macroscópica correcta); b. porque las partículas de azúcar se mezclan con las partículas de agua, originando el sabor dulce (respuesta microscópica correcta); c. porque el azúcar libera una sustancia que interacciona con el agua dando el gusto dulce (respuesta macroscópica incorrecta); d. porque las partículas de azúcar se rompen y se libera una sustancia que da sabor dulce al agua (respuesta microscópica incorrecta).

Las cuatro opciones ofertadas son de naturaleza descriptiva sin que en ningún momento se aluda a explicaciones basadas en la teoría cinética molecular. Dos de las opciones son de naturaleza macroscópica siendo sólo una de ellas científicamente correcta; las otras dos opciones son de naturaleza microscópica (hacen referencia a las partículas que componen la materia) e igualmente sólo una de ellas es acertada.

La tercera tarea consta también de 8 preguntas y sólo se diferencia de la

tarea anterior en que las dos opciones microscópicas (una correcta y otra incorrecta) hacen referencia explícita a la teoría cinética molecular, la cual ofrece una explicación de los cambios observables de la materia que se basa en la interacción entre moléculas.

RESULTADOS

1. Dadas las inconsistencias aparecidas en la investigación previa sobre la cifra de sujetos de educación secundaria que utilizan representaciones microscópicas de la materia tras un período de enseñanza, interesaba contar con una mayor aportación de datos empíricos al respecto.

En la tabla 1 se presenta la frecuencia media con la que el alumnado de la muestra recurre a representaciones microscópicas (“representación microscópica total”) y macroscópicas (“representación macroscópica total”), independientemente que este uso sea o no correcto.

El rango de respuestas a ambas variables va desde 0 hasta 20, dado que cada una de las veinte preguntas que componen la prueba es susceptible de ser contestada empleando, tanto representaciones microscópicas como macroscópicas.

Tabla 1
Frecuencias de uso de los distintos tipos de representación de la materia

	Tipo de representación			
	Macroscópica		Microscópica	
	Total	Correcta	Total	Correcta
Media	7,4	4,9	12,5	9,8
Sx	2,6	2,1	2,6	3,1

Como puede observarse, el recurso a las representaciones microscópicas alcanza una media de 12,45; esto significa que, como promedio, el alumnado elige este tipo de explicación en más de un 60% de las oportunidades. Este porcentaje, frente a algo menos del 40% de uso de las representaciones macroscópicas (media de 7,4 sobre 20), indica una diferencia estadísticamente significativa ($t = -13,926$; $P = ,000$).

Un tal porcentaje de recurso a las representaciones microscópicas es muy superior al identificado en estudios previos, anteriormente citados. Según los datos de Pozo *et. al.* (1999) era del 42% y según los de VILLARROEL (2000) del 35,5% por lo que las diferencias con uno ($t = -22,3$; $P = ,000$) y otro estudio ($t = -29,4$; $P = ,000$) resultan ser estadísticamente significativas; sobre esta cuestión se volverá después en el apartado de discusión.

Ahora bien, estos datos se prestan a otro análisis: ¿en qué medida las contestaciones elegidas son correctas, con independencia de si son de naturaleza macroscópica o microscópica? No se olvide que la naturaleza, macroscópica o microscópica, de la representación no va asociada con la corrección o incorrección interpretativa de un determinado fenómeno. Dicho de otra forma, el hecho de ofrecer una explicación microscópica de la materia no garantiza que la misma sea correcta; y, al revés, una interpretación macroscópica puede ser correcta aun cuando no se ajuste al modelo cinético molecular.

La tabla 1 recoge también información sobre esta cuestión del porcentaje de alumnado de la muestra que utilizó correctamente las representaciones microscópicas (“representación microscópica correcta”) y macroscópicas (“representación macroscópica correcta”), respectivamente. Como puede observarse, la frecuencia media de uso correcto de las representaciones microscópicas de la materia (49%) es superior a la de representaciones macroscópicas (24,5%). Estos datos indican que la interpretación correcta de los fenómenos estudiados mantiene una asociación con la utilización de representaciones microscópicas muy superior ($t = 15,596$; $P = ,000$) a la que se produce cuando se manejan representaciones macroscópicas.

2. Para poder relacionar el cambio conceptual con las variables motivacionales, se adopta en este estudio como medida del cambio conceptual el uso correcto de las representaciones microscópicas; es decir, se considera que han experimentado un cambio conceptual aquellos estudiantes que recurren correctamente a una explicación cinético-molecular de los fenómenos físicos que se les han planteado. Recuerdese que el objetivo principal de la intervención didáctica que se desarrolló en el aula consistía en familiarizar al alumnado con las interpretaciones que la ciencia elabora para explicar cómo la materia puede cambiar de aspecto sin variar su esencia; y para entender estas interpretaciones es necesario comprender el mundo corpuscular de la misma. Se considera, en consecuencia, que han experimentado un cambio conceptual aquellos estudiantes que recurren correctamente a una explicación cinético-molecular de los fenómenos físicos en lugar de apelar a teorías personales.

Un análisis de conglomerados ha permitido discriminar, tal como se refleja en la tabla 2, tres grupos de estudiantes en función del uso correcto (“bajo”, “medio” o “alto”) que hacen de las representaciones microscópicas.

El análisis de conglomerados (*cluster analysis*) es una técnica estadística multivariante que permite dividir el conjunto de una muestra en grupos que, con respecto a una variable (en este caso, las representaciones microscópicas), sean, por un lado, cada uno de ellos lo más homogéneo posible y, por otro lado, muy distintos entre sí; esta técnica resulta muy útil para extraer información de un conjunto de datos sin imponer restricciones previas en forma de modelos estadísticos (HARTIGAN, 1975).

Tabla 2
Grupos de estudiantes en función del mejor o peor uso de representaciones microscópicas de la materia

Grupos de rendimiento	N	Rango	Media	Desv. típ.
Bajo	48	6	5,9	1,2
Medio	94	3	9,4	1,0
Alto	60	6	13,6	1,5
Total	202	17	9,8	3,1

Para comprobar si las diferencias que se presentan son significativas se ha recurrido a un análisis de varianza (ANOVA). Conforme a esta prueba, los tres grupos de estudiantes así agrupados difieren significativamente entre sí ($F(2) = 529,8$; $P < 0,001$) en cuanto a la frecuencia de uso correcto (“bajo”, “medio” y “alto”) de las representaciones microscópicas: medias de 5,9, de 9,4 y de 13,6 respectivamente.

A continuación se han identificado las puntuaciones de cada uno de estos grupos de sujetos en las distintas variables motivacionales del cuestionario CEAM II, tal como se expone en la tabla 3.

TABLA 3
Puntuaciones en las variables motivacionales del alumnado agrupado en función de la frecuencia de uso (bajo, medio, alto) de las representaciones científicas de la materia

Variables del CEAM		Grupos de alumnos en función de la frecuencia de uso de las representaciones microscópicas correctas			
		Bajo N = 48	Medio N = 94	Alto N = 60	Total N = 202
Autoeficacia Rango: 0-28	Media	20,2	20,9	22,9	21,3
	Desv. típ.	5,2	4,2	3,7	4,4
Ansiedad Rango: 0-35	Media	23,1	22,8	20,2	22,1
	Desv. típ.	6,8	6,4	7,0	6,7
Valoración de la tarea Rango: 0-42	Media	33,2	32,4	33,7	32,9
	Desv. típ.	5,1	4,9	5,0	5,0
Creencias de control Rango: 0-56	Media	44,4	44,8	45,8	45,0
	Desv. típ.	6,9	6,1	6,2	6,3
Motivación intrínseca Rango: 0-28	Media	21,5	21,7	22,5	21,9
	Desv. típ.	4,2	3,4	3,3	3,6
Motivación extrínseca Rango: 0-28	Media	24,4	23,0	22,4	23,1
	Desv. típ.	3,6	3,9	4,1	4,0
Motivación global Rango: 0-217	Media	134,5	136,5	145,8	139,0
	Desv. típ.	22,1	16,7	18,2	19,0

Para comparar las puntuaciones se ha utilizado, nuevamente, el análisis de varianza. Las diferencias observables entre los tres grupos de estudiantes alcanzan significatividad estadística en las siguientes variables: *autoeficacia* ($F(2) = 5,6$; $P < 0,01$), *ansiedad* ($F(2) = 3,8$; $P < 0,05$) y *motivación intrínseca* ($F(2) = 3,6$; $P < 0,05$). En otras dos variables no llegan a ser significativas, pero sí muestran una tendencia coherente con las expectativas teóricas ya que tanto *el valor de la tarea* como la *motivación intrínseca* ofrecen una trayectoria creciente que va desde el grupo de cambio conceptual “bajo” al grupo “alto”. La única variable con un comportamiento no ajustado a lo previsible es la de las creencias de *control de la tarea*.

También son significativas las diferencias observadas en la escala de *motivación global* ($F(2) = 5,5$; $P < 0,01$), escala cuya fórmula de obtención es preciso exponer dado que no hay uniformidad en el modo de calcularla. En esta ocasión se asume como índice de la motivación global el resultado

de sumar las puntuaciones obtenidas en las seis anteriores variables si bien otorgando sentido inverso a las puntuaciones en las escalas de *ansiedad* y de *motivación extrínseca*, operando de la siguiente forma: restando del total posible (35 en ansiedad y 28 en motivación extrínseca) la puntuación de cada sujeto.

Con el propósito de identificar con precisión entre cuáles de los grupos de bajo, medio y alto uso correcto de las representaciones microscópicas se producen diferencias estadísticamente significativas (al nivel ,05) entre las medias dadas en estas variables motivacionales, se llevaron a cabo comparaciones por pares tras un análisis multivariante de la varianza. Los resultados más relevantes se sintetizan en la tabla 4.

Tabla 4
Comparación múltiple de grupos en las variables motivacionales
donde se producen diferencias de medias estadísticamente significativas

V a r i a b l e s	G r u p o s p o r f r e c u e n c i a d e u s o d e r e p r e s e n t a c i o n e s m o t i v a c i o n a l e s m i c r o s c ó p i c a s	
A u t o e f i c a c i a	M e d i o / A l t o	-1,720
	A l t o / B a j o	2,446
A n s i e d a d	M e d i o / A l t o	2,659
	A l t o / B a j o	-3,935
M o t i v a c i ó n e x t r í n s e c a	M e d i o / B a j o	-1,539
	A l t o / B a j o	-2,274
M o t i v a c i ó n t o t a l	M e d i o / A l t o	-8,985
	A l t o / B a j o	11,274

En las cuatro variables se repite la existencia de diferencias entre los grupos alto y bajo. En tres casos (*autoeficacia*, *ansiedad* y *motivación total*), se constatan diferencias significativas entre los grupos alto y medio. Y sólo en *motivación extrínseca* difieren los grupos medio y bajo. Puede decirse, en definitiva, que entre los grupos medio y bajo no se constatan las diferencias que se dan entre el alto y el medio y, sobre todo, entre el alto y el bajo.

DISCUSIÓN

El promedio de uso correcto de las representaciones microscópicas de la materia alcanzado por los estudiantes de educación secundaria que participaron en este estudio es comparativamente alto (en torno al 60%) respecto al observado (el 40% aproximadamente) en estudios precedentes realizados con alumnado de la misma edad (VILLARROEL, 2001); e incluso es mayor al comprobado en alumnado universitario (POZO, 1998). Estas diferencias en los resultados cabe atribuirlos, en particular, a las características de la propuesta didáctica utilizada. Partiendo de los preconceptos que los alumnos tienen sobre este tema de estudio (DRIVER *et. al.*, 1994), el modelo instruccional utilizado en clase hace especial hincapié en la diferenciación de los dos modos de referirse a la materia: como descripción de observaciones experimentales (nivel macroscópico) y como inferencia sobre el comportamiento de las partículas que la componen (interpretación microscópica mediante la teoría cinético molecular). Tiene sentido que un modelo instruccional de estas características consiga, mejor que otros, la efectividad educativa que específicamente se propone alcanzar.

Ahora bien, de ser esta efectividad cierta, se impondría una conclusión: que objetivos didácticos tales como la comprensión de los niveles más abstractos de las teorías científicas y su empleo para interpretar fenómenos de cambios físicos de la materia no parecen estar necesariamente vetados al alumnado del primer ciclo de la ESO y que su consecución es sensible al tipo de intervención didáctica que se utilice; cuestión distinta, y que merecería mayor investigación, es la de la transferencia de este logro y su persistencia o no.

También merece comentario otro de los efectos de la intervención educativa, el de la mayor asociación de la interpretación correcta de los fenómenos con la representación microscópica que con la macroscópica. Este efecto aporta un nuevo argumento al sentido del conocimiento escolar ya que éste se muestra superior al conocimiento cotidiano para entender adecuadamente la naturaleza de la materia.

No todos los alumnos y alumnas logran, sin embargo, el objetivo pretendido. En la muestra estudiada aparecen tres grupos que manifiestan niveles diferenciados de comprensión de las representaciones microscópicas de la materia. No es ésta una afirmación que pueda sorprender a nadie pero en este estudio ha servido de enlace para tratar de verificar si estos niveles

desiguales de comprensión se asocian con variables motivacionales o, dicho de otra forma, para comprobar la relación que guardan distintos grados de motivación con la calidad, mayor o menor, de los aprendizajes escolares. Y los resultados obtenidos corroboran, en efecto, la covariación entre algunas variables motivacionales y el cambio conceptual. Aunque estas relaciones ya habían sido puestas de manifiesto en estudios sobre motivación y rendimiento académico, no se habían verificado respecto a la calidad del aprendizaje científico; ahora podemos decir que las creencias motivacionales se asocian no sólo con el rendimiento académico general sino también de forma más específica con aprendizajes académicos cualitativamente distintos.

Al igual que lo comprobado por la investigación previa respecto al rendimiento académico, la variable motivacional de la autoeficacia vuelve a mostrarse especialmente relevante respecto al uso de representaciones microscópicas de la materia, dimensión esencial del aprendizaje científico mientras que las variables *ansiedad* y *motivación extrínseca* muestran una relación inversa. Es relevante también que la puntuación de *motivación global* ofrezca diferencias significativas por el valor sintético de la misma; no obstante, al proponerse en este trabajo una nueva forma para su cálculo, esta puntuación merecería ser objeto de especial atención en posteriores estudios.

Estos resultados ganarían, por otro lado, en relevancia si se avanzase desde el actual modelo de las variables motivacionales a otros modelos más integrativos, en la dirección, por ejemplo, que el propio PINTRICH (2002) propone en torno al aprendizaje autorregulado. Esto permitiría ofrecer no sólo puntuaciones en las distintas variables motivacionales sino recurrir a una tipología del alumnado resultante de su orientación a metas (de aprendizaje/de mantenimiento de la propia estima) en combinación con su patrón para evitar las consecuencias negativas o bien con su patrón de logro de ciertos estados considerados deseables. Nuestros propios datos admitirían una reinterpretación desde esta tipología pero no han sido expresamente obtenidos desde esta perspectiva, por lo que sugerimos el proseguir también por esta vía de investigación.

CONCLUSIONES

Dos son las conclusiones principales que se derivan de este estudio: la primera refrenda la función del conocimiento escolar; la segunda realza los procesos afectivos que intervienen en el aprendizaje. Se ha comprobado, en primer lugar, que un mayor uso correcto de las representaciones microscópicas de la materia por parte del alumnado de educación secundaria va a depender del modelo instruccional que se emplee en el aula. Por otro lado, los niveles desiguales en la comprensión de la estructura molecular de la materia guardan relación con distintos grados de motivación; el cambio conceptual, lejos de reducirse a un proceso intelectual, se produce en directa conexión con factores motivacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- BENARROCH, A., El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia, *Enseñanza de las ciencias*, 18 (2), 235-246, 2000.
- CAAMAÑO, A., El aprendizaje y la enseñanza de la estructura de la materia. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 26, 73-74, 2000.
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P. & WOOD ROBINSON, V., *Dando sentido a la ciencia en secundaria*, Visor, Madrid, 1999.
- GONZÁLEZ, M. & TOURÓN, J., Expectativas de aprendizaje y de rendimiento de los alumnos universitarios, *Revista de Psicología de la Educación*, 22, 99-123, 1997.
- HARTIGAN, J.A., *Clustering algorithms*, John Wiley & Sons, New York, 1975.
- IZQUIERDO, M. & SOLSONA, N., The case of teaching and learning the concept of chemical change, en O. JONG, J. KORTLAND, A. WAARLO & J. BUDDIGH (eds.), *Bridging the gap between theory and practice: What research says to the science teacher* (pp.111-126), Utrecht University, The Netherlands, 1999.
- PINTRICH, P.R., The dynamic interplay of student motivation and cognition in the college classroom, en C. AMES & M. MAEHR (eds.), *Advances in motivation and achievement* (vol. 6). *Motivation enhancing environments* (pp. 117-160), CT: JAI, Greenwich, 1989.
- PINTRICH, P.R. & DE GROOT, E., Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance, *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 33-40, 1990.
- PINTRICH, P.R. & GARCÍA, T., Student goal orientation and self-regulation in the college classroom, en P.R. PINTRICH & M. MAEHR (eds.), *Advances in motivation and achievement* (vol. 7), *Goals and self-regulatory processes* (pp. 371-402), CT: JAI, Greenwich, 1991.
- PINTRICH, P., SMITH, D., GARCÍA, T. & McKEACHIE, W., *A manual for the use of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ)*, Ann Arbor, MI: The University of Michigan, 1991.
- PINTRICH, P.R., MARX, R.W. & BOYLE, R.A., Beyond cold conceptual change: The role of

motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change, *Review of Educational Research*, 63, 167-199, 1993.

PINTRICH, P.R., Motivational beliefs as resources for and constraints on conceptual change, en W. SCHNOTZ, S. VOSNIADOU & M. CARRETERO (eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 33-50), Pergamon, Oxford, 1999.

PINTRICH, P.R., The role of goal orientation in self-regulated learning, en M. BOEKAERTS, P. PINTRICH & M. ZEIDNER (eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 452-494), Academic Press, New York 2000.

POZO, J.I., *Aprender y enseñar ciencia*, Morata, Madrid, 1998.

POZO, J.I., GÓMEZ, M. & SANZ, A., When change does not mean replacement: Different representations for different context, en W. SCHNOTZ, S. VOSNIADOU & M. CARRETERO (eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 161-174), Pergamon, Oxford, 1999.

PRIETO, T. & BLANCO, A., Visión escolar de la naturaleza y estructura de la materia. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 26, 75-82, 2000.

ROCES, C., TOURÓN, J. & GONZÁLEZ, M., Validación preliminar del CEAM II, *Psicológica*, 16, 347-366, 1995.

ROCES, C., *Estrategias de aprendizaje y motivación en la universidad*, (tesis doctoral no publicada), Universidad de Navarra, Pamplona, 1995.

ROCES, C., GONZÁLEZ-PIENDA, J.A., NÚÑEZ, C., GONZÁLEZ-PUMARIEGA, S., GARCÍA, M. & ÁLVAREZ, L., Relaciones entre motivación, estrategias de aprendizaje y rendimiento académico en estudiantes universitarios, *Revista Electrónica del Departamento de Psicología, Universidad de Valladolid*, 1, 1, 41-50, 1999.

SCHNOTZ, W., VOSNIADOU, S. & CARRETERO, M., *New perspectives on conceptual change*. Pergamon, Amsterdam, 1999.

VILLARROEL, J., Relación entre motivaciones y cambio conceptual en el aprendizaje de las propiedades físicas de la materia en alumnos de secundaria, *Revista de Psicodidáctica*, 10, 17-26, 2000.

VOSNIADOU, S. & BREWER W.F., Mental models of the earth, *Cognitive Psychology*, 24, 535-585, 1992.

VOSNIADOU, S., Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69, 1994.

Received 3.11.2003 / Approved 26.09.2004

A decision-support information system for the teaching and the evaluation of environmental aspects to students

Un sistema informático de apoyo para tomar decisiones en la instrucción y evaluación de temas medioambientales

SARANTOS PSYCHARIS¹, ATHANASIOS DAFLOS², KONSTANTINA CHRYSAFIADI³ BRIAN-ATHANASSIOS GIANNAKOPOULOS⁴

¹ Greek Pedagogical Institute Mesogeion 396 15342 Agia Paraskevi Athens-Greece

² 'Trakleitos Pliroforiki' Information Technology Center

³ Dept. of Informatics, Athens University of Economics and Business

⁴ Campion School, Athens 1 Picrodafnis St., 152 36 Pendeli, Athens, Greece
psychari@otenet.gr, tdafls@yahoo.co.uk, konchry@hotmail.com, br_gian@otenet.gr

Abstract

In this paper we present a Web-Based educational programme for studies in Environmental Education. The goal of this application is to help students gain sufficient knowledge about their environment and to realize their role in it as active citizens. The application adapts to the learner's previous knowledge and evaluates the knowledge of the student in particular areas in the study of their environment. Students can work with this programme from remote areas, selecting the subject they want to deal with. Teachers are able to adjust the examination according to their students' performance following a diagnostic test. The advantage of this is the continuous assessment of the student by changing the questions he/she receives from the programme each time according to his/her mistakes in the previous exam. The application has been successfully tested in lower secondary-school students and the results presented are quite encouraging. The application can be installed on a Web-Server and be available in schools, organizations etc, enhancing the availability of e-learning resources.

Key words: decision-support information system, environmental issues, cross thematic approach, web-based software

Resumen

Este trabajo presenta un programa educativo en la Web para estudios de educación medioambiental. La meta de esta aplicación es ayudar a los estudiantes en la adquisición del suficiente conocimiento sobre su ambiente y comprender su papel en él como ciudadanos activos. La aplicación se adapta al conocimiento anterior del aprendiz y evalúa el conocimiento del estudiante en particular en las áreas de estudio medioambiental. Los estudiantes pueden trabajar con este programa, seleccionando el asunto de su interés. Los maestros pueden ajustar el examen según la actuación de sus estudiantes con una prueba diagnóstica. La ventaja de esto es la valoración continua del estudiante cuando el sistema cambia las preguntas de acuerdo con los errores del estudiante en el examen anterior. La aplicación se ha probado con éxito en estudiantes de escuela secundaria y los resultados presentados realmente son positivos. La aplicación puede instalarse en un servidor Web y estar disponible para las escuelas, organizaciones, etc., reforzando los recursos virtuales de la enseñanza.

Palabras clave: sistema informático con apoyo de decisiones, problemas medioambientales, enfoque interdisciplinario, software virtual.

INTRODUCTION

Over the last couple of decades, there has been an increasing interest in the field of Environmental Studies. This is certainly due to growing environmental problems such as the Greenhouse Effect, Atmospheric Pollution, Extinction of endangered species and over consumption of natural resources and energy in combination with environmental awareness. As a result, new environmental departments have been established in many Universities. Schools also have gradually introduced a variety of environmental courses, Ministries of Education and the Environment and Physical Planning have put forward initiatives towards the careful guidance of the citizens for the protection and better understanding of the environment.

Studies related to Physics of the Environment constitute an excellent candidate to benefit from computer science and especially from the advances of web-based educational software technology. Instructors may use web-based educational software not only to facilitate and complement their process of course delivery and examination, but also to help them evaluate learners. Students can use it to learn, practice, consolidate newly acquired knowledge and examine their knowledge both in and out of the class. Moreover, web-based educational software is accessible to students, adults and full-time employees in remote locations.

The multidisciplinary nature of studies in the Physics of Environment imposes the need for an appropriate web-based educational software whose main characteristic should be the adaptivity to the particular needs of an individual student. Students have diverse backgrounds, different ability of assimilation and therefore different personalities. Furthermore, in case of a web-based educational application, a human teacher is not always needed. All of these create the need for educational software that takes into account the needs and weaknesses of each learner and is adapted accordingly. This application provides knowledge for a variety of environmental topics, examines learners about their environmental knowledge, evaluates learners, indicates errors and weaknesses of learners and suggests topics needing special attention. It covers issues in different areas of environmental studies, and, in particular: House, Garden, Neighborhood, Transportation, Workplace, Marketplace, Excursions, Water, Electricity, Rubbish, Atmospheric Pollution, and Ecology-Recycling