





## LAS DIFICULTADES DE LOS ALUMNOS AL RELACIONAR DISTINTOS NIVELES DE REPRESENTACIÓN DE UNA REACCIÓN QUÍMICA

Graciela Casado, Andrés Raviolo

*Universidad Nacional del Comahue, San Carlos de Bariloche, 8400, Argentina*  
araviolo@bariloche.com.ar

### RESUMEN

Este trabajo muestra los resultados de un estudio exploratorio, referido al aprendizaje del concepto de reacción química, llevado a cabo con alumnos de 15-17 años que asisten a la escuela secundaria en San Carlos de Bariloche. A estos alumnos se les administró el Test Multirrepresentacional sobre la Reacción Química que indaga las vinculaciones entre los niveles macro, micro, simbólico y gráfico de la materia. Se observó que los alumnos presentaron serias dificultades para relacionar estos niveles, lo que evidenció una limitada comprensión de la reacción química. A la luz de estos resultados, se realizan algunas sugerencias didácticas para la enseñanza del cambio químico.

**Palabras clave:** Reacción química, niveles de representación, dificultades aprendizaje.

### ABSTRACT

This work shows the results of a preliminary study, related to the learning of the concept of chemical reaction, carried out with 15 to 17 years old students who attend secondary school in San Carlos de Bariloche. These students were given a Multirepresentational Test about chemical reaction, which investigates the relations among macro, micro, symbolic and graphic representation levels of the subject matter. Students presented serious difficulties to relate in relating these levels, which made evident demonstrated a limited understanding of the concept of chemical reaction. From these results, some didactic suggestions for the teaching of chemical change are given.

**Key words:** Chemical reaction, levels of representation of matter, learning difficulties

---

### INTRODUCCIÓN

Una línea de investigación en la Didáctica de la Química aborda la cuestión referida a la relación entre el éxito en la resolución de un problema y la comprensión conceptual del mismo, en particular, la comprensión de sus aspectos moleculares. La

mayoría de los estudios que se plantean esta cuestión utiliza situaciones en las que se emplean representaciones con partículas para indagar la comprensión conceptual.

Johnstone (1982) fue uno de los primeros autores en destacar la importancia de diferenciar tres niveles de representación de la

materia: (1) nivel sensorial o perceptivo (*nivel macroscópico*), (2) nivel partículas: átomos, moléculas o iones (*nivel microscópico o submicroscópico*) y (3) nivel símbolos, fórmulas y ecuaciones (*nivel simbólico*). Desde esta perspectiva, saber química es poder aplicar estos tres niveles, de una forma relacionada, al estudio de un fenómeno. En adelante se hará referencia al nivel partículas directamente como nivel microscópico.

Gabel (1993) justifica las dificultades encontradas en esta línea de investigación, por el énfasis puesto sobre el nivel simbólico y la resolución de problemas algorítmicos, a expensas de los niveles macro y micro, y por las insuficientes conexiones que se establecen entre los tres niveles (si es que son presentados en la enseñanza).

Algunos autores como Russell y otros (1997) incorporan un cuarto nivel de representación: el *nivel gráfico*, constituido por gráficos o diagramas cuantitativos, especialmente los gráficos XY, que representan el comportamiento de propiedades macroscópicas en el tiempo, por ejemplo la variación de las concentraciones.

En el caso particular del concepto de reacción química, los estudiantes mantienen concepciones alternativas que la enseñanza habitual del tema no trata con eficacia (Baker, 2001). Sin embargo, se observa que la mayoría de los textos y de los docentes, le dedican escaso tiempo y espacio a sus aspectos conceptuales.

Teniendo en cuenta los fundamentos anteriores, este trabajo se planteó el objetivo de realizar una indagación de las concepciones y dificultades de alumnos de nuestro medio sobre la comprensión de la reacción química en los cuatro niveles de representación mencionados y, especialmente, en lo que atañe a las relaciones que se establecen entre ellos.

## METODOLOGÍA

### Instrumento: Test Multirrepresentacional sobre la Reacción Química

El TMRQ está compuesto por nueve ítems, de naturaleza diferente dado que incluye cuestiones escritas tipo verdadero/falso sobre los niveles macro y microscópico, cuestiones que parten o solicitan diagramas de partículas, cuestiones donde se solicitan ecuaciones químicas y cuestiones sobre la interpretación de gráficos cantidad-tiempo. Algunos ítems fueron tomados de la bibliografía consultada y otros fueron diseñados *ad hoc*; por razones de espacio sólo se incluirán los enunciados de estos últimos.

En estos ítems se solicita a los alumnos la realización de las siguientes actividades:

- Ítem 1: Evaluar la veracidad de una serie de 12 proposiciones sobre las características de una reacción química. Por ejemplo: “En una reacción química siempre se produce un cambio de estado de agregación (sólido, líquido, gaseoso)”.
- Ítem 2: Identificar procesos químicos en una lista de transformaciones cotidianas, por ejemplo: “Jugo de limón actuando sobre el mármol”. Este ítem es similar al formulado por Stavridou y Solomonidou (1989).
- Ítem 3: Reconocer cambios químicos a partir de representaciones con partículas correspondientes a los estados inicial y final, justificando la elección hecha. Este ítem está inspirado en Jansson (1995).
- Ítem 4: Traducir un cambio químico, expresado en términos macroscópicos, a los niveles simbólico y microscópico.

- Ítem 5: Traducir una representación con partículas de la ecuación química a una ecuación con símbolos y a otra con palabras.
- Ítem 6: Reconocer la situación final de un cambio químico expresada a nivel microscópico, a partir de la situación inicial y de la ecuación química. Corresponde al problema de estequiometría conceptual 1 de Nurrenbern y Pickering (1987).
- Ítem 7: Identificar la ecuación química correspondiente a una reacción representada por las situaciones inicial y final a nivel microscópico. Corresponde al problema de estequiometría conceptual 2 de Nurrenbern y Pickering (1987).
- Ítem 8: Reconocer las curvas correspondientes a: reactivo limitante, producto y reactivo en exceso, desde gráficos cantidad vs. tiempo.
- Ítem 9: Relacionar representaciones microscópicas con representaciones gráficas (cantidad vs. tiempo) correspondientes a dos situaciones con y sin reactivo limitante.

## MUESTRAS

En el contexto de una investigación más amplia cuyo objetivo era poner a prueba una propuesta de enseñanza, se realizó este estudio exploratorio de las concepciones de los alumnos de nuestro medio sobre el cambio químico. Participaron 79 alumnos de un colegio público de Bariloche, de edades entre 15 y 17 años. Estos estudiantes habían tenido química durante 3 ó 4 años, con una carga horaria semanal de sólo 2 horas. Los temas que habían tratado los tres primeros años fueron: sistemas materiales, estados de agregación, estructura de la ma-

teria, átomo, molécula, modelo cinético molecular y nociones sobre el cambio químico: clasificación, combustión, conservación de la masa. No contaron con libro de texto, tuvieron pocas experiencias de laboratorio y fueron coordinados por profesores excedidos en número de cursos y alumnos.

El test fue administrado inicialmente a un grupo de 26 alumnos que finalizaban cuarto año, como grupo piloto, para validar la presentación del mismo. De esta prueba se llegó a la conclusión de que no era necesario introducir modificaciones en el test dado que las preguntas resultaron claras y el largo de la prueba adecuado al tiempo previsto. Por esta razón, se incluyó a este grupo de alumnos en la muestra total, conformada también por 53 alumnos que estaban finalizando tercer año. El tiempo de realización del test, para la mayoría de los alumnos, fue menor a 80 minutos.

## RESULTADOS

### Ítemes 1 y 2

En el ítem 1 resulta interesante observar que un gran número de alumnos (72%) reconoce como falsa la afirmación que durante un cambio químico “las moléculas permanecen sin cambiar (suponiendo sustancias moleculares)”; sin embargo, muchos alumnos tienen dificultad para explicar cómo cambian. La idea de proceso químico como redistribución de átomos es indagada con la afirmación “los átomos que forman un tipo de moléculas se redistribuyen para formar otras moléculas nuevas” es considerada como verdadera por el 57% de los encuestados.

Algo semejante ocurre con la proposición “la masa se conserva antes y después de la reacción, en un recipiente cerrado” con un 38% de respuestas afirmativas. Hesse y

Andersson (1992) obtuvieron resultados semejantes cuando los alumnos interpretaban reacciones en las que los reactivos o productos se encuentran en estado gaseoso.

Sólo un 27% supuso como falsa la afirmación “en una reacción química siempre hay un cambio observable (desprendimiento de un gas, cambio de color, producción de un precipitado, etc.”. El hecho de que los alumnos suelen focalizar en los cambios macroscópicos observables que generalmente acompañan a los procesos químicos es una dificultad señalada también por Stavridou y Solomonidou (1989) cuando investigaban la capacidad de un grupo de jóvenes para distinguir entre cambios físicos y químicos. Con frecuencia esta concepción es transmitida —involuntariamente— en la enseñanza escolar, vinculada directamente a los ejemplos que se brindan.

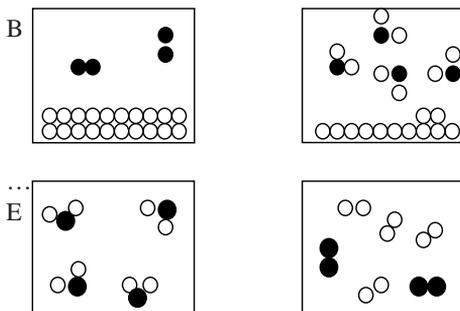
En el ítem 2, los alumnos mostraron escasa dificultad para reconocer como cambios físicos a fenómenos de desplazamiento “el movimiento de un planeta” (91%) o de fraccionamiento de objetos (“la obtención de aserrín al pulir madera” (87%). Sin embargo, el porcentaje de aciertos es menor en el caso de las disoluciones: “el agregado de azúcar al café” (59%) y, especialmente, en el caso de los cambios de estado: “el congelamiento de la superficie de una laguna” (32%) o “la evaporación del agua de un charco” (34%). Con respecto al reconocimiento de cambios químicos, por ejemplo: “el encendido de un fósforo”, el promedio de respuestas correctas fue 63%.

Esta escasa dificultad para reconocer como tales a diversas reacciones químicas sugiere que posiblemente los estudiantes posean el concepto de proceso químico como aquel en el que ocurren transformaciones de sustancia/s, pero mantengan dificultad para reconocer qué es una sustancia y para entender si ésta se transforma o no.

### Ítem 3:

“¿En cuáles de los siguientes casos se está representando una reacción química? Los símbolos, y representan átomos de diferentes elementos. Justifica tu respuesta.

inicialmente                      luego de cierto tiempo”



Los conceptos involucrados en este ítem aparecen también en los ítemes anteriores 1 y 2, por ejemplo la redistribución de los átomos y los cambios de estado. El hecho de que los alumnos respondan más acertadamente sobre los cambios de estado (condensación 82% y vaporización 81%) que en los dos ítemes anteriores, estaría mostrando que las representaciones a nivel microscópico ayudan a discernir entre cambios químicos y cambios físicos.

El 92% no tuvo inconvenientes en contestar correctamente el subítem B, correspondiente a una reacción de combinación, adhiriendo a la idea de proceso químico como redistribución de átomos.

Si bien en general los alumnos no se equivocan al clasificar los procesos en físicos y químicos, algo menos de un 25% justifica sus elecciones correctamente; muchos usan un lenguaje ambiguo y confunden conceptos como átomo y molécula, sustancia y

elemento. A continuación, se muestran algunos ejemplos de afirmaciones que ilustran esto, para el par de diagramas del subítem E:

- “*las moléculas pequeñas se aíslan de las más grandes*”.

- “*se forman nuevos elementos*”.

Finalmente, para el subítem E, el porcentaje de alumnos que reconoce como tal a una descomposición química (87%) es algo menor que en el caso de la combinación. Teniendo en cuenta algunas justificaciones expuestas por los alumnos —que se muestran a continuación— se advierte la persistencia de la idea de que una reacción química tiene que ver con “mezclar sustancias”; esto los lleva, incluso, a “leer” el par de diagramas al revés, de derecha a izquierda, como una combinación.

- “... si hay combinación de moléculas”.

- “Puede ser que sí ya que dos moléculas se rompen y atraen otras dos más pequeñas que ellas”.

#### Ítems 4 y 5:

El ítem 4 plantea el pasaje del nivel macroscópico a los niveles simbólico y microscópico.

“Si acercas un fósforo encendido a un trozo de cinta de magnesio, ésta arderá fácilmente, emitiendo luz. El magnesio metálico se habrá combinado con el oxígeno atmosférico, formando el óxido de magnesio correspondiente (sólido a temperatura ambiente).

a- Escribe la ecuación química ajustada (con símbolos químicos), correspondiente a este proceso.

b- Representa la reacción mediante diagramas de partículas” .

Pocos alumnos pudieron plantear correctamente la ecuación. Es interesante notar que algunos estudiantes recurrieron —sin éxito— a conceptos complejos como el de número de oxidación, para formular compuestos. Además, se observó que muchos no distinguían claramente entre átomo y molécula y no habían adquirido el concepto de atomicidad. En cuanto a los diagramas de partículas, se observaron serias dificultades al representar las sustancias en sus respectivos estados de agregación. Esto delataría el escaso uso de imágenes microscópicas en la enseñanza de conceptos básicos.

En el ítem 5 se presenta a los alumnos una ecuación realizada con partículas, y se les pide que escriban la ecuación química y que luego la interpreten verbalmente.

“Dada la siguiente representación de una reacción química:



○ = átomos de hidrógeno

● = átomos de oxígeno

●○ = agua oxigenada

a- Expresa la ecuación química ajustada:  
b- Expresa la ecuación química verbalmente (con palabras)” .

Las dificultades encontradas son semejantes a las halladas en el ítem anterior. Pocos alumnos (4%) pudieron plantear la ecuación correctamente e interpretarla con precisión. A continuación se transcriben algunas frases de alumnos:

- “*los átomos de hidrógeno se combinan con los átomos de oxígeno (reactivos) para dar como producto agua oxigenada*”.

- “*4 átomos de hidrógeno + 4 átomos de*

oxígeno = a 2 moléculas de agua de 2 átomos de hidrógeno y 2 de oxígeno c/u”.

En estas justificaciones se pone en evidencia la falta de claridad con respecto a los términos átomo y molécula: ningún alumno usa el término molécula para referirse a los reactivos, la mayoría de los que justifican hablan de “2 átomos de oxígeno y 2 de hidrógeno”, e incluso algunos escriben “átomos de agua oxigenada”.

### Ítemes 6 y 7

Estas cuestiones se corresponden con los problemas de estequiometría conceptual 1 y 2 de Nurrenbern y Pickering (1987). En el ítem 6 los estudiantes tienen que reconocer la situación final de un cambio químico, expresada a nivel microscópico, a partir de la situación inicial y de la ecuación química. En cambio, en el ítem 7, tienen que identificar la ecuación química correspondiente a una reacción representada por las situaciones inicial y final a nivel microscópico. El 6% contestó en forma correcta el ítem 6 (respuesta e) y un 21% el ítem 7 (respuesta c).

Los alumnos (22%) que seleccionan la respuesta d del ítem 6 (que muestra dos moléculas de  $\text{SO}_3$ ) pueden estar confundiendo la ecuación química ( $2\text{S} + 3\text{O}_2 \text{g} 2\text{SO}_3$ ) con la situación real, para ellos los coeficientes estequiométricos son las cantidades presentes en una situación experimental. En forma similar, en el ítem 7, cuya respuesta correcta era  $\text{X} + 2\text{Yg} \text{XY}_2$ , los alumnos (23%) que seleccionan la respuesta d ( $3\text{X} + 8\text{Yg} 3\text{XY}_2 + 2\text{Y}$ ), coincidente con el número de partículas mostrado en los dibujos, parecen tener esta misma dificultad.

En el ítem 7 es elevado el porcentaje de alumnos (40%) que eligen la opción a ( $3\text{X} + 8\text{Yg} \text{X}_3\text{Y}_8$ ), donde los coeficientes de la ecuación química de los reactivos se corresponden con las cantidades de particu-

las presentes en la situación inicial, y estos coeficientes son utilizados como subíndices del producto, sin prestar atención a la distribución de los átomos en el producto ( $\text{XY}_2$ ).

Del análisis de los ítemes 6 y 7 se desprende que muchos alumnos confunden coeficientes con subíndices y desconocen que el reactivo en exceso no se incluye en las ecuaciones químicas. El estudio de Nurrenberg y Pickering (1987) reporta similares resultados y comprueba que los estudiantes encuestados presentan un mayor número de aciertos en la resolución de problemas numéricos de tipo tradicional que en este tipo de problemas conceptuales.

### Ítem 8:

En este ítem a los estudiantes se les solicita que identifiquen las curvas correspondientes a: “reactivo que se agota (limitante)”, “producto” y “reactivo en exceso”, desde gráficos cantidad vs. tiempo, para una reacción que se inicia sólo con reactivos.

El número de respuestas correctas fue muy escaso (6%). Los alumnos eligen mayoritariamente (65%) al gráfico en que la curva aumenta (que corresponde al producto) como la situación del reactivo en exceso, dado que asocian “en exceso” con “aumenta”. Un 51% considera al gráfico correspondiente a una situación con reactivo en exceso como si fuera del producto. Estos resultados, apoyados en las justificaciones dadas por los encuestados, indican cierto desconocimiento de los conceptos de reactivo limitante y en exceso, e incluso, de la diferencia entre reactivo y producto. Algunas justificaciones fueron:

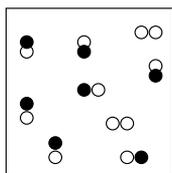
- “el reactivo que se agota se representa en un gráfico decreciente, el producto en uno decreciente pero que no se agota y el que está en exceso en el creciente”.

- “(el reactivo limitante) porque disminuye, (el producto) porque se mantiene y (reactivo en exceso) porque es excesivo”.

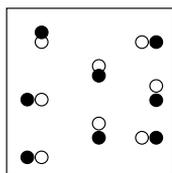
### Ítem 9

En este ítem los estudiantes tienen que relacionar representaciones microscópicas con representaciones gráficas (cantidad vs. tiempo) correspondientes a dos situaciones, con y sin reactivo limitante. En enunciado de este ítem fue:

“Abajo se representan dos situaciones finales después que se completó la siguiente reacción:  $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$  (representa un átomo de hidrógeno y representa un átomo de yodo)

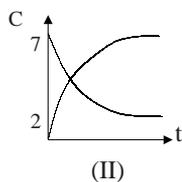
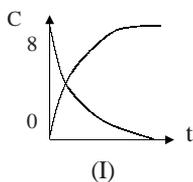


(a)



(b)

¿cuál de los siguientes gráficos cantidad versus tiempo representa la situación (a) y cuál la (b)? Justifica brevemente tus respuestas” :



En este ítem sucede algo semejante a lo que ocurre en el anterior: responde correctamente un porcentaje exiguo de alumnos (36%). En este caso, al tratarse de dos opciones, el azar juega un papel más importante; es por eso que las justificaciones tuvieron un valor fundamental en el análisis de las elecciones hechas por los alumnos. A continuación, se transcriben algunas de las justificaciones:

- “el gráfico I pertenece a b porque se forman 8 moléculas y en el gráfico (II) está representada la a porque quedan 2 átomos del mismo elemento juntos, y 7 compuestos por 2 elementos diferentes”.

- “la II representa la situación a ya que tiene 7 átomos de yodo, y la I la b por los 8 átomos de yodo”.

Estas afirmaciones muestran que los números 2, 7 y 8, que aparecen en los gráficos lineales ayudaron a identificar correctamente, aunque esto no significó la adecuada aplicación de los conceptos de reactivo limitante y en exceso.

### CONCLUSIONES

En esta muestra de alumnos, el sostenimiento de la idea de que toda reacción química incluye cambios observables muestra una débil interpretación microscópica del fenómeno. La comprensión de la reacción química a nivel microscópico pareció verse favorecida en los casos en que se presentaban diagramas con partículas. Mayores dificultades evidenciaron los estudiantes cuando tuvieron que realizar sus propias representaciones microscópicas y justificar sus respuestas.

Los escasos conocimientos sobre aspectos macroscópicos fundamentales como los conceptos de reactivo limitante, reactivo en exceso y producto, o la idea de que no toda reacción química implica combinar sustancias, pone de manifiesto la falta de trabajo experimental apropiado. Además, las dificultades encontradas al relacionar estos conceptos con las ecuaciones químicas muestran que no es un aspecto discutido en la enseñanza, basada generalmente en la formulación y ajuste de ecuaciones químicas.

En lo que se refiere al nivel simbólico, se observó que la mayoría tuvo inconvenientes en escribir la ecuación química de una reacción, partiendo del fenómeno macros-

cópico o de representaciones microscópicas. También se vio que, para muchos estudiantes, los coeficientes estequiométricos son las cantidades presentes en una situación experimental. En términos generales, esta dificultad podría asociarse a una concepción realista del conocimiento, en la que se confunde realidad con modelo (Van Driel y Verloop, 1999), donde el modelo es concebido como una copia de la realidad.

Con respecto a la comprensión de gráficos cantidad versus tiempo, aspecto no indagado en otras investigaciones sobre el aprendizaje del cambio químico, se aprecia que los alumnos han hecho una interpretación superficial y analógica de ellos, confundiendo a la curva que aumenta (la del producto) con la del reactivo en exceso.

La escasa movilidad entre los diferentes niveles que representan una transformación química, es una consecuencia del insuficiente manejo del nivel microscópico que ponen de manifiesto los alumnos, tal como lo señalan Ben-Zvi y otros (1987) y Hesse y Anderson (1992). Algunos resultados similares pueden deberse a formas semejantes de enseñanza en distintos países, por ejemplo, al peso puesto en el nivel simbólico y a la falta de discusión de fenómenos cotidianos.

Si bien muchas de las dificultades encontradas podrían atribuirse a la falta de entrenamiento de los alumnos con los distintos niveles de representación de la materia, en especial con el nivel microscópico y con el establecimiento de relaciones entre ellos, los resultados obtenidos en este trabajo muestran que las dificultades exceden esta causa y se deben a falencias conceptuales, más que al tipo de lenguaje empleado. Estas falencias conceptuales se presentan en aspectos básicos de la temática que no pueden omitirse en ningún tipo de propuesta de enseñanza.

Por ello, se recomienda que el abordaje del tema de la reacción química se realice teniendo en cuenta estos distintos niveles de representación de la materia y que éstos sean trabajados simultáneamente, favoreciendo la permanente vinculación entre los mismos. Para los primeros cursos de la escuela media resultará más conveniente partir del nivel experimental y vincular las observaciones realizadas con posibles representaciones simbólicas y explicaciones moleculares. Los modelos particulados de la materia y los gráficos lineales, podrían ser utilizados, en forma progresiva, desde el inicio de la educación secundaria; por ejemplo, para representar los diferentes estados de la materia, los cambios de estado, los procesos de disolución, etc. De esta forma, la idea de reacción química sería gradualmente construida, desde proposiciones imágenes y modelos mentales adecuados.

#### LITERATURA CITADA

- ANDERSSON, B. y RENSTROM, L. 1982. *Oxidation of steel wool*, EKNA report 7. Universit of Gothenburg.
- BAKER, V. 2001. *Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas*. A report prepared for the Royal Society of Chemistry.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. y SILBERSTEIN, J. 1987. Students' visualisation of a chemical reaction, *Education in Chemistry*, 24 (4): 117-120.
- GABEL, D. 1993. Use of particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70 (3): 193-194.
- HESSE, J. y ANDERSON, C. 1992. Students' Conceptions of Chemical Change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (3): 277-299.
- JANSSON, I. 1995. Students' conceptual understanding in chemistry, ages 17-19. Some examples concerning particle

- representations of matter and chemical reactions, Göteborgs Universitet, Sweden.
- JOHNSTONE, A.H. 1982. Macro and micro-chemistry, *School Science Review*, 64, 377-379.
- NURRENBERN, S. y PICKERING, M. 1987. Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64 (6): 508-510.
- RUSSELL, J., KOZMA, R., JONES, T., WYKOFF, J., MARX, N. y DAVIS, J. 1997. Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts, *Journal of Chemical Education*, 74 (3): 330-334.
- STAVRIDOU, H y SOLOMONIDOU, C. 1989. Physical phenomena - chemical phenomena: do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11 (1): 83-92.
- VAN DRIEL, J. y VERLOOP, N. 1999. Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21 (11): 1141-1153.

**Recibido:** 29-06-2004

**Aceptado:** 02-02-2005