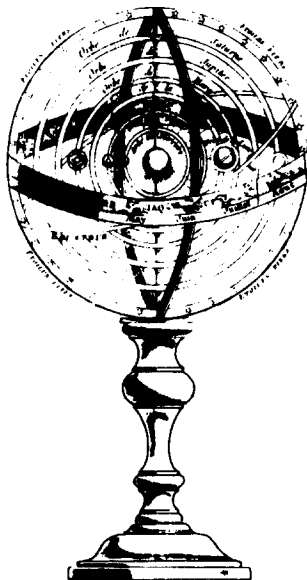


INNOVACIONES DIDÁCTICAS



EMPLEO DEL ANÁLISIS DE ERRORES PARA ACLARAR CONCEPTOS DE QUÍMICA GENERAL

MAMMINO, LILIANA
Department of Chemistry, University of Venda
P/bag X5050, Thohoyandou 0950, Sudáfrica

Resumen. El análisis de los errores puede ser considerado uno de los más poderosos instrumentos de explicación y, además, un instrumento particularmente apto para ser utilizado entre opciones de enseñanza interactiva. Su utilización no es aún muy sistemática, lo que sugiere la oportunidad de ulteriores exploraciones de sus potencialidades. El presente trabajo se ocupa de su aplicación con el objetivo específico de facilitar y mejorar la comprensión de los conceptos de la química básica y general. La presentación de la aproximación es acompañada de la discusión de un número considerable de ejemplos concretos.

Palabras clave. Química básica, aprovechamiento errores.

Summary. The analysis of errors can be considered one of the most powerful tools of explanation. In additions, it is particularly apt within interactive teaching options. However, it is still largely underutilised, which suggests the opportunity for further exploration of its potentialities. The current work focuses on its application with the purpose of facilitating and enhancing the understanding of basic and general chemistry concepts. The presentation of the approach is substantiated by the discussion of a considerable number of concrete examples.

Keywords: Basic chemistry, profit from errors.

INTRODUCCIÓN

La comprensión conceptual en el aprendizaje de las ciencias sigue generando investigaciones con el objetivo de hacerla más profunda y facilitar su consecución. Se presenta aquí la aplicación en el campo de los conceptos de química general, de una herramienta de uso más amplio, el *análisis de errores*. El contenido de este trabajo forma parte de un estudio de varios años que ha llevado, entre otras cosas, a la preparación de una guía práctica del *lenguaje de las ciencias* que utiliza el análisis de errores como instrumento de explicación (Mammino, 1995).

Los resultados concernientes a la enseñanza de la química general han sido obtenidos en cursos de química general y química física en tres diferentes instituciones del África austral (Universidad de Zambia, Universidad Nacional de Lesotho y Universidad de Venda), durante más de diez años. Por lo tanto, los casos específicos discutidos se refieren a aspectos que se encuentran más frecuentemente en ese contexto. Pero la relevancia de los resultados no se limita a éste, pues la presencia de dificultades con los conceptos químicos considerados ha sido observada en una variedad de contextos. La discusión de ejemplos ilustrará que muchas dificultades no tienen «confines geográficos». Después de una panorámica de las principales funciones didácticas del análisis de errores, se presentarán ejemplos concretos de aplicación en referencia a conceptos de química general.

EL ANÁLISIS DE ERRORES COMO INSTRUMENTO DE EXPLICACIÓN

El análisis de errores es uno de los instrumentos de explicación más poderosos. Discutir por qué algo no es correcto involucra la atención de los alumnos más profundamente y requiere que ellos piensen por sí mismos. Los efectos positivos son importantes y se asocian a las características de tal análisis, (Mammino, 1996; Love y Mammino, 1997). Así:

- Se revela más convincente que la simple enunciación de la información correcta.
- Atrae la atención hacia detalles que no son fácilmente individualizados en una simple lectura. Favorece la identificación de la variedad de aspectos de cada concepto y contribuye al aprendizaje de una lectura más crítica de los textos.
- Alcanza un impacto considerable en términos de esclarecer el nivel de los conceptos individuales y de las construcciones más complejas, como los modelos.
- Constituye una forma de «amonestación» interior contra la repetición de errores ya encontrados.
- En el análisis de las frases en general, contribuye indirectamente a la adquisición del hábito de revisar las propias frases, lo que constituye una herramienta útil para la prevención de errores.

– Se opone eficazmente a la tendencia a la memorización, frecuente en ciertos contextos (por ejemplo, la memorización pasiva es prácticamente el único instrumento de aprendizaje conocido por los alumnos provenientes de escuelas de las áreas de Sudáfrica *históricamente en desventaja*, es decir, las que bajo el régimen del *apartheid* eran solamente para negros).

– Es apto para la enseñanza interactiva. Las interacciones en la clase favorecen una evidenciación más completa de la naturaleza e implicaciones del error, con la consiguiente clarificación de los aspectos involucrados. Al mismo tiempo, el análisis de errores proporciona al enseñante información sobre las dificultades de los alumnos, que sería difícil de obtener de otra manera.

– Se revela particularmente eficaz en situaciones en las que los errores tienen simultáneamente componentes lingüísticos y conceptuales. En estos casos, es un instrumento para mejorar tanto la comprensión conceptual como las habilidades expresivas de los alumnos y su familiaridad con el *lenguaje de las ciencias*, porque permite discutir los componentes conceptuales y lingüísticos de manera integrada y evidenciar sus relaciones (Love y Mammino, 1997). La comprensión inadecuada es frecuentemente asociada a factores concernientes al lenguaje; éstos pueden ser clasificados en dos categorías principales: *a)* factores debidos a una inadecuada familiaridad con el *lenguaje de las ciencias* (Lahore, 1993), presentes, con mayor o menor entidad, en todas las situaciones educacionales; y *b)* factores debidos a un insuficiente conocimiento del lenguaje, que es el medio de instrucción, frecuentes en las situaciones en que los alumnos utilizan un idioma diferente del idioma materno, como es el caso de la mayoría de los países africanos (Clerk y Rutherford, 1998; Love, 1995; Mammino, 1995, 1998, 2000; Zepp, 1981). El análisis de errores se revela eficaz para ambas categorías.

A pesar de su potencialidad, el análisis de errores es un instrumento aún no utilizado sistemáticamente. Esto sugiere la oportunidad de extender su utilización, adaptándola también a las variadas situaciones, cursos y niveles de instrucción.

EJEMPLOS EN CURSOS DE QUÍMICA GENERAL

En los cursos de ciencias en la escuela secundaria y en los primeros años de la universidad, la clarificación de los conceptos involucra varios componentes, ya que los alumnos no solamente adquieren información, sino también un método de estudio y, además, se familiarizan con la estructura conceptual y metodológica específica de la ciencia. En el caso de los cursos de química general, las siguientes categorías conceptuales necesitan intervenciones de clarificación:

- Aspectos concernientes a los dos niveles (microscópico y macroscópico) de descripción y a sus mutuas rela-

ciones (Anderson, 1990; Gabel, Samuel y Hunn, 1987; Harrison y Treagust, 1996; Lijnse, Licht, Vos y Waarlo, 1990; Mitchell y Kellington, 1982).

- Aspectos operacionales y relaciones entre aspectos conceptuales y experimentales (Mammino y Tanor, 1998).
- Aspectos del lenguaje y sus relaciones con el sentido de los conceptos (Mammino, 1995, 1995-96, 1998).

El análisis de errores es eficaz para todas estas categorías. Los detalles del análisis son definidos y desarrollados de manera específica para cada caso. En los párrafos que siguen se presenta una breve panorámica de opciones y sus resultados. Se considera separadamente la discusión de errores de los profesores o los libros de texto y errores de los alumnos. Esto permite subrayar la flexibilidad de las aproximaciones prácticas y su adaptación a diferentes situaciones.

La corrección de concepciones erróneas «enseñadas»

Las concepciones erróneas que tienen sus raíces en cursos precedentes son bastante frecuentes. Su corrección no es una tarea fácil, porque los alumnos encuentran difícil aceptar que los profesores o los libros puedan enseñar algo que no es completamente correcto. Además, la información aprendida en el primer encuentro con una disciplina es interiorizada más profundamente y, en consecuencia, es la más difícil de erradicar y sustituir con información correcta. Por un lado, esto subraya la importancia de:

- Proporcionar definiciones, formulaciones, enunciados y descripciones que sean rigurosas (Mammino, 1995-96; Mammino y Tanor, 1998). Dificultades particulares en este sentido se encuentran cuando se hallan enunciados imprecisos en los libros, que los alumnos consideran como fuente *oficial* de información.
- Reconsiderar las enunciaciones y formulaciones tradicionales con el objetivo de un mayor grado de rigurosidad (Bradley, Brand y Gerrans, 1987; Mammino, 1995-96; Mammino y Tanor, 1998).

Por otro lado, la corrección de concepciones erróneas es una necesidad del primer año de la universidad. Se puede considerar un componente importante del pasaje al nivel terciario. Desde un punto de vista más teórico y metodológico, puede ser interesante analizarla según la idea de *cambio conceptual* delineada por Duschl (1995).

Para la discusión de ejemplos concretos, se considera una categoría específica: los casos en que las concepciones erróneas son determinadas por definiciones proporcionadas en niveles precedentes de instrucción. Las siguientes opciones se han revelado satisfactorias:

- La proposición de ejemplos prácticos que evidencian las contradicciones de una definición errónea. Es apta cuando es posible proponer ejemplos de sistemas o

fenómenos apropiados, sencillos y fácilmente comprensibles por los alumnos.

- Un análisis detallado de la formulación para identificar y evaluar todas sus implicaciones. Es apto cuando los alumnos tienen bastante información sobre el asunto para poder tomar parte activa en la discusión.

– Una provisión preliminar, por parte del enseñante, de las informaciones necesarias, y una sucesiva comparación con las implicaciones de la formulación errónea. Es inevitable en el caso en que los alumnos no tienen bastante información precedente para poder utilizar la posterior comparación. Esto sucede frecuentemente en el caso de temas pertenecientes a la descripción microscópica, pues la información sobre ella es aprendida de los libros, sin fáciles conexiones con la experiencia directa.

La consideración de algunos ejemplos concretos permitirá ilustrar los aspectos prácticos de estas tres opciones.

Ejemplo 1. Se considera un criterio de distinción entre fenómenos físicos y fenómenos químicos que es frecuentemente proporcionado a los alumnos de escuela secundaria, en los contextos educacionales antes mencionados, según el cual *un fenómeno es físico si es reversible y es químico si no es reversible*. El criterio ha aparecido también en libros de texto, a veces con expresión de dudas. Por ejemplo, Underwood y Webster (1981) han escrito que «los fenómenos físicos pueden ser revertidos fácilmente, mientras que los fenómenos químicos no pueden serlo», añadiendo después el comentario de que «esta afirmación es siempre verdadera para los fenómenos físicos, mientras que puede llevar a interpretaciones erróneas en el caso de fenómenos químicos». Además, unos profesores de química de escuelas secundarias italianas han informado a la autora que esta definición ha empezado a aparecer en unos materiales en Italia (donde antes no aparecía y donde probablemente ha sido «importada»), lo que muestra que el problema no está limitado a un área geográfica o a un idioma.

En algunos casos, este criterio erróneo se ha revelado tan profundamente interiorizado que los alumnos han seguido su sentido literal prefiriéndolo a la evidencia experimental. Un ejemplo es el caso descrito por Mammino y Tanor (1998), en el que los alumnos decidieron que una serie de reacciones químicas en las que el cobre estaba entre los reactivos iniciales, y era recuperado al término de la última reacción, eran un «proceso físico, porque es reversible».

Proporcionar simplemente la información de que la reversibilidad no es un criterio adecuado o correcto y añadir un criterio nuevo no es bastante convincente frente a la costumbre adquirida de pensar en términos del criterio interiorizado y de utilizarlo en contextos prácticos. La opción que se ha revelado más eficaz son los ejemplos de fenómenos que contradicen aquel criterio con fuerte evidencia, seguida por interacciones para *descubrir* un criterio correcto (uno de los fenómenos considerados es la dispersión de un gas que se libera en

el aire cuando se abre el contenedor: un fenómeno que los alumnos clasifican intuitivamente como *físico*, y que no es reversible).

Ejemplo 2. Un análisis similar puede ser aplicado a definiciones tradicionales que hayan sido proporcionadas en lugar de definiciones más recientes y rigurosas. Es el caso de una de las definiciones más tradicionales de *molécula* hasta pocas décadas atrás:

«La molécula es la parte más pequeña de un compuesto que mantiene las propiedades de este compuesto.»

La discusión se desarrolla en dos etapas. La etapa preliminar toma en consideración los conceptos de *elemento* y de *compuesto* y también las *propiedades de las sustancias*. La segunda etapa analiza las implicaciones de la definición para los siguientes asuntos:

– Si las informaciones que ella proporciona permiten reconocer que O_2 , F_2 , S_8 , etc., son moléculas.

– Si las propiedades identificadas en la discusión preliminar son realmente mantenidas por las moléculas. Las propiedades de las sustancias más frecuentemente enumeradas por los libros y, en consecuencia, por los alumnos, son las propiedades físicas: punto de fusión, de ebullición, de densidad, etc. Ninguna de estas propiedades es definible para las moléculas individuales.

En casos en que se ha discutido esta definición, ocurre que algunos alumnos habían aprendido una definición modificada, con la especificación de *propiedades químicas* en lugar del más genérico *propiedades*. Está claro que la modificación puede resolver el problema concerniente a las propiedades, pero no el de la exclusión de las moléculas de los elementos. Así, sigue siendo necesario construir una definición diferente, que permita reconocer como «moléculas» no solamente las moléculas de los compuestos, sino también las de los elementos. El camino para llegar a la nueva definición incluye la discusión de los dos niveles de descripción (microscópico y macroscópico). Como las moléculas pertenecen al nivel de descripción microscópico, se da una definición en términos de este nivel (un grupo estable de átomos).

La discusión de este ejemplo también permite ilustrar que nuestras descripciones (incluso las definiciones) tienen un desarrollo histórico, y que un componente de este desarrollo es la búsqueda de más precisión y rigor.

Ejemplo 3. Se considera la siguiente frase:

«La hibridación permite una mayor superposición en el enlace (es decir, enlaces más fuertes), porque los orbitales híbridos se extienden más lejos del núcleo.»

Éste es un discurso perteneciente a la descripción del nivel microscópico, y no es probable que los alumnos tengan bastantes informaciones preliminares. Así, es más conveniente utilizar la tercera opción. El enseñante proporciona la información de que los orbitales

híbridos no se extienden más lejos del núcleo respecto a los orbitales de los que se han originado. Un diagrama de la hibridación s-p puede añadir la eficacia de la visualización. La discusión utiliza la información y el diagrama para subrayar que la mejor superposición es consecuencia de una situación geométrica más conveniente.

Ejemplo 4. Es también importante corregir las concepciones erróneas acerca de los instrumentos matemáticos que se utilizan en el curso, porque éstas pueden llevar a interpretaciones erróneas. Como ejemplo ilustrativo, se considera un instrumento matemático fundamental en los cursos de química general, el concepto de *proporcionalidad*. En un número alto de casos, se ha visto que los alumnos habían interiorizado las siguientes definiciones excesivamente simplificadas:

«Dos cantidades x e y son directamente proporcionales si y crece cuando x crece.»

«Dos cantidades x e y son inversamente proporcionales si y decrece cuando x crece.»

Una aplicación coherente de estas definiciones lleva a errores como los de hablar de *proporcionalidad directa* cuando entre y y x hay una dependencia lineal, cuadrática o exponencial (se han registrado numerosos errores de este tipo, aun por parte de alumnos de segundo y tercer año de universidad). En consecuencia, es necesario corregir esta concepción tan pronto como sea posible. Una oportunidad ideal para la discusión del concepto de *proporcionalidad* se ofrece en la presentación de las leyes de los gases ideales, introducidas en la parte inicial del curso de química general. Además, las leyes involucran los dos tipos de proporcionalidad y, así, una discusión sobre la proporcionalidad directa e inversa se adapta de manera natural al esquema de explicación.

Una opción que se ha revelado apta para estimular la participación activa de los alumnos es la presentación de diagramas. Se presentan (en una misma transparencia) los gráficos de: una dependencia lineal con coeficiente positivo; una dependencia cuadrática del tipo $y = x^2$ para el caso de x positivo; una dependencia exponencial y de la proporcionalidad directa: todos responden al criterio « y crece cuando x crece». Análogamente, para el caso de la proporcionalidad inversa, se presentan diagramas de la proporcionalidad inversa de: una dependencia lineal con coeficiente negativo; una dependencia cuadrática del tipo $y = -x^2$ para el caso de x positivo. Todos responden al criterio « y decrece cuando x crece». Se pide a los alumnos que elijan la representación correcta entre las de la transparencia. En un número de casos, la influencia de la interiorización del criterio simplificado es tan dominante que los alumnos se muestran inciertos en la asignación y requieren una guía apropiada. La discusión sobre los diagramas intenta evidenciar cómo las definiciones excesivamente simplificadas harían posible la inclusión de dependencias de otro tipo, y «construir» definiciones correctas.

La discusión de errores de los alumnos

En situaciones ideales, la explicación y la discusión de los errores que los alumnos cometen en su trabajo debería ser un componente importante de la atención del profesorado a cada alumno individualmente. Esto no es de fácil realización cuando los grupos de alumnos son muy numerosos y el número de clases asignado a un enseñante es alto. Una alternativa, que puede proporcionar beneficios comparables, es la discusión en grupos de errores preseleccionados. Los criterios de selección dan oportunamente prioridad a los errores que aparecen más frecuentemente o que revelan interpretaciones erróneas del material en cuestión. Los errores son propuestos por el enseñante y son anónimos, de manera que los alumnos puedan sentirse completamente libres a través de la discusión, sin las dificultades emocionales que pudieran asociarse al riesgo de que el «autor» sea conocido o identificable (Love y Mammino, 1997).

La discusión es oportunamente guiada por el maestro. En su desarrollo más completo, incluye las siguientes etapas:

- La revisión de las características del sistema o fenómeno al cual la frase se refiere, subrayando todos los aspectos significativos.
- El análisis de la frase propuesta, para identificar su significado literal, su significado conceptual y sus implicaciones.
- Una comparación de las características del sistema o fenómeno con las informaciones e implicaciones transmitidas por la frase. Esta etapa lleva a la identificación de los errores.
- La construcción de una formulación correcta.
- La proposición de hipótesis sobre las posibles percepciones que puedan haber llevado a su autor a los errores identificados. Esta etapa proporciona informaciones relevantes acerca de las percepciones y las interpretaciones de los alumnos y acerca de la presencia de concepciones erróneas *enseñadas*.

A continuación se consideran unos ejemplos para ilustrar la variedad de caminos que se pueden explorar con el objetivo de elaborar soluciones óptimas para cada caso.

Ejemplo 5. Las tentativas de los alumnos para explicar qué es una molécula frecuentemente proporcionan material interesante para discusiones interactivas. La frase siguiente es un ejemplo bastante típico:

«Una molécula es una combinación química específica de dos o más elementos.»

Como revisión de los conceptos que tienen relación con la definición, la discusión toma en consideración los siguientes aspectos:

– lo que se entiende por *elemento* y *compuesto*, y las diferencias entre los dos;

– lo que se entiende por *combinación química*;

– las diferencias entre el nivel microscópico de descripción y el nivel macroscópico. Se incluye también la consideración de la pertenencia de los conceptos involucrados (*molécula*, *combinación química*, *elemento*) a uno u otro de los dos niveles.

Como análisis de las implicaciones de la frase, se averigua si las informaciones que ésta proporciona permiten:

– saber que las moléculas forman parte del nivel microscópico;

– diferenciar entre *molécula* y *compuesto*;

– decir que H_2 , N_2 , S_8 son moléculas.

Ejemplo 6. La siguiente frase concierne a las fuerzas intermoleculares:

Con *fuerzas intermoleculares* hacemos referencia a las fuerzas que se encuentran dentro de las sustancias. Estas fuerzas entre las partículas permiten que puedan estar cercanas la una a la otra.

Como revisión de conceptos, se toman en cuenta los siguientes aspectos: el concepto de *sustancia*, el concepto de *partícula*, y qué partículas se encuentran en una sustancia.

Como análisis del sentido y de las implicaciones de la frase, el asunto principal es la consideración de si la frase permite diferenciar entre las fuerzas que se ejercen entre moléculas y las fuerzas que se ejercen entre otros tipos de partículas (por ejemplo, entre núcleo y electrones, o entre las partículas que constituyen el núcleo, o entre los átomos en una molécula). Estas consideraciones constituyen la base para *construir* una definición correcta de *fuerzas intermoleculares*.

Ejemplo 8. Hay casos en que los errores de los alumnos ofrecen la oportunidad de una discusión sobre una terminología que es parte de la tradición de la química, pero que puede dejar espacio a interpretaciones incorrectas. La frase que sigue está sacada de un informe sobre un experimento para la determinación del calor de solución:

«El objetivo principal es la determinación del contenido térmico de la solución.»

La discusión puede considerar los siguientes aspectos:

– la diferencia entre *solución* y *proceso de disolución*;

– lo que es posible medir en experimentos de termodinámica (variaciones, no valores absolutos);

– la diferencia entre las expresiones «contenido térmico de una solución» y «variación de entalpía que acompaña el proceso de disolución»;

– el hecho de que, cuando decimos *entalpía de disolución*, en realidad entendemos «variación de entalpía que acompaña el proceso de disolución», siendo ésta la cantidad que podemos determinar experimentalmente.

Estos ejemplos evidencian que un análisis que tiene en cuenta los conceptos y la manera de expresarlos involucra también, de manera natural, la discusión de aspectos del método científico (la función de las definiciones, la naturaleza de nuestras descripciones y su evolución a través de la historia, la función del lenguaje en la expresión y en la construcción de los conceptos, los aspectos pertenecientes a la lógica).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los ejemplos precedentes muestran que el análisis de errores ofrece oportunidades para profundizar más que en las explicaciones usuales. La profundización permite una comprensión más completa del sentido de los conceptos en todos sus aspectos e implicaciones y, simultáneamente, la aclaración de asuntos concernientes al lenguaje. Los conceptos y su expresión se integran en un análisis complejo, en el que el lenguaje es instrumento para la construcción de los conceptos.

Cuando el análisis es desarrollado en opciones interactivas, los alumnos toman parte activa en el *descubrimiento* de los errores o las imprecisiones en las frases propuestas, en la identificación de los conceptos que se relacionan con aquéllos y en la aclaración. Se han encontrado dificultades iniciales en los casos en que los alumnos estaban acostumbrados a la memorización pasiva como única forma de aprendizaje, porque no tenían familiaridad ni con la posibilidad de discutir sobre el material de los cursos ni con la idea de que se puede reflexionar sobre los errores. En estos casos, se necesita

la guía del profesor para facilitar la adquisición, por parte de los alumnos, de un grado de confianza que les permita *decidir* reflexionar y tomar parte en la discusión.

Otra dificultad se asocia al hecho de que el desarrollo de este tipo de análisis en opciones interactivas necesita una cantidad de tiempo que no siempre está disponible. Frente a esto, se está explorando la posibilidad de preparar material que analice los errores más frecuentes de manera detallada y utilizando una forma de expresión sencilla y fácilmente comprensible. Se persigue el objetivo de planear la organización y la presentación del material de manera que los alumnos puedan utilizarlo en el estudio individual.

A modo de conclusión, se puede decir que el análisis de errores se ha revelado como una herramienta de explicación particularmente rica, permitiendo considerar simultáneamente los aspectos conceptuales y los aspectos de expresión (en relación tanto con las exigencias de la comunicación como con las del *lenguaje de las ciencias*). Este análisis permite también una aproximación más global a las tentativas de aclarar cada concepto individual y sus implicaciones, sus relaciones con otros conceptos y su función en el modelo que interesa:

– Siendo particularmente apto para opciones de enseñanza interactiva, es también una herramienta eficaz para estimular la reflexión activa por los alumnos.

– La atención específica al lenguaje permite también utilizarlo como instrumento de diagnóstico de las percepciones o ideas de los alumnos (Maskill, 1982).

Como consecuencia, parece interesante continuar la exploración sistemática de las potencialidades del análisis de errores, en términos de identificación de posibles aplicaciones y desarrollo de aproximaciones prácticas, como la preparación de material didáctico auxiliar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, B. (1990). Pupil's conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, pp. 53-85.
- BRADLEY, J.D., BRAND, M. y GERRANS, G.C. (1987). Excellence and the accurate use of language, symbols and representations in chemistry, en *Widening the scope of chemistry*. IUPAC Blackwell Scientific Publications.
- CLERK, D. y RUTHERFORD, M. (1998). «Language as a confounding variable in diagnosing misconceptions». Proceedings of the 6th Annual Meeting of the SAARMSE, UNISA. Sudáfrica.
- DUSCHL, R. (1995). Más allá del conocimiento. Los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 3-14.
- GABEL, D.L., SAMUEL, K.V. y HUNN, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), pp. 695-697.
- HARRISON, A.G. y TREAGUST, D.F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), pp. 509-534.
- LAHORE, A. (1993). Lenguaje literal y connotado en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), pp. 59-62.
- LIJNSE, P.L., LICHT, P., VOS, W. y WAARLO, A.J. (1990). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles*.

- A central problem in Secondary Science Education*. Utrecht: CD-b Press.
- LOVE, A. (1995). «Imprecisions in the writing of science students». Proceedings of LASU Conference. Harare.
- LOVE, A. y MAMMINO, L. (1997). Using the analysis of errors to improve students' expression in the sciences. *Zimbabwe Journal of Educational Research*, 9(1), pp. 1-17.
- MAMMINO, L. (1995a). *Il linguaggio e la scienza*. Torino: Società Editrice Internazionale.
- MAMMINO, L. (1995b). Teaching/learning theoretical chemistry at undergraduate level. *Southern Africa Journal of Mathematics and Science Education*, 2(1-2), pp. 69-88.
- MAMMINO, L. (1995-96). Algunas reflexiones sobre el rigor conceptual y formal en la enseñanza de la química. *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, 8(2), pp. 375-384.
- MAMMINO, L. (1996). L'analisi degli errori come strumento didattico. *Nuova Secondaria*, 10, pp. 75-76.
- MAMMINO, L. (1998). Science students and the language problem: suggestions for a systematic approach. *Zimbabwe Journal of Educational Research*, 10(3), pp. 189-209.
- MAMMINO, L. (2000a). Il ruolo delle definizioni nell'insegnamento delle scienze. *Scuola e Città*, 1, pp. 25-37.
- MAMMINO, L. (2000b). Studying the difficulties of the transition from the mother tongue to the second language, en Seepe & Dawling (eds.). *The language of science*. Sudáfrica: Vyvlia.
- MAMMINO, L. y TANOR, E.B. (1998). «Understanding Chemical Concepts and Interpreting Experiments: Two Mutually Interactive Activities». International Chemistry Conference in Africa and 34th Convention of the South African Chemical Institute. Durban. Sudáfrica.
- MASKILL, R. (1982). Investigating knowledge of chemistry through the study of language, en Lowenthal, F., Vandamme, F. y Cordier, J. (eds.). *Language and its acquisition*. Nueva York: Plenum.
- MITCHELL, A.C. y KELLINGTON, S.H. (1982). Learning difficulties associated with the particulate theory of matter in the Scottish integrated science course. *European Journal of Science Education*, 4(4), pp. 429-440.
- UNDERWOOD, D.N. y WEBSTER, D.E. (1981). *Chemistry*. Londres: Edward Arnold.
- ZEPP, R.A. (1981). Relationships between mathematics achievements and various English language proficiencies. *Educational Studies in Mathematics*, 12, pp. 59-70.

[Artículo recibido en noviembre de 1999 y aceptado en octubre de 2001.]