

¿Puede aprenderse química orgánica en la universidad presenciando una clase expositiva?

M. Gabriela Lorenzo, Alejandra Salerno y Mercedes Blanco*

ABSTRACT: Can students learn organic chemistry in university being present at a lecture?

A study about the effect of the teacher's lectures on students' possibilities for solving some exercises of organic chemistry is presented. An investigation in context to 455 freshmen students with pencil-and-paper tasks of different complexity and different requirements was performed. The experimental design included the following independent variables: Condition of answering (previous, short-time, long-time), type of question (declarative concept, relational concept, technical and strategical procedure) and chemical contents (conformational analyses, nuclear magnetic resonance). The data were analyzed qualitatively and quantitatively. The responses were classified like correct (from the chemical point of view), incorrect (incomplete, regular, wrong) and not answered. Our results demonstrate that teacher participation is irreplaceable to promote student learning. This effect is not only visible in an increase of correct answers, but on the increase of total responses. Lectures affects principally on the using of technical language, the respect of conventions of chemical notations and on procedures for solving tasks.

KEY WORDS: University, Communication, Explanation, Chemical Language, Organic Chemistry.

Introducción

Los químicos (y todos aquéllos dedicados a la química) deberíamos reconocer que hasta hoy no hemos abandonado completamente las prácticas herméticas de la alquimia. Desde antes de su consolidación como disciplina científicamente reconocida, el conocimiento químico fue resguardado por sus hacedores detrás de símbolos y metáforas. Este hábito fue encarnado por los químicos y perdura hasta nuestros días. Abonados por las creencias populares de que "la química no es para todos", cultivamos un cierto orgullo por poder pronunciar palabras ininteligibles para los no iniciados.¹ A pesar de ello, año tras año desfilan por nuestras aulas centenares de estudiantes que de manera más o menos consciente intentan desentrañar los significados más celosamente guardados de la química. El salón de clases, aun en el nivel universitario, es un escenario complejo en el que intervienen innumerables factores (Campanario, 2002) donde en definitiva, profesores y alumnos interactúan entre sí y con el contenido disciplinar a

través del lenguaje natural. La distancia a recorrer entre el lenguaje cotidiano de los jóvenes estudiantes hasta el lenguaje disciplinar es extensa y requiere de competencias específicas del profesor para concretarlo con éxito (Zabalza, 2007). Es así que la comunicación que se establece en el aula entre los profesores y sus alumnos, y la variedad de recursos a los que recurren unos y otros cuando intentan construir significados compartidos es un tema clave para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Coll y Onrubia, 1996, Edward y Mercer, 1994). En este sentido, a partir del análisis del discurso oral de profesores de un primer curso universitario de química orgánica, hemos encontrado que el lenguaje y los sistemas representacionales son objeto de especial atención (Rossi y Lorenzo, 2006; Lorenzo y Rossi, 2007).

En este punto cabe preguntarnos cuál es el papel que desempeñan los profesores cuando explican química en clase y en qué aspectos del aprendizaje de los estudiantes influyen más sus explicaciones. Para encontrar respuestas, realizamos una investigación en contexto en cursos universitarios de química orgánica. Comenzaremos presentando los fundamentos teóricos que la sustentan para luego discutir los datos empíricos. Finalmente reflexionaremos respecto de las posibles repercusiones de nuestros resultados sobre las prácticas de enseñanza de la química.

El aprendizaje de la química requiere aprender sus lenguajes

La especial relación entre los símbolos químicos para representar sustancias y las sustancias mismas hace del lenguaje, un aspecto esencial de la química. El lenguaje químico es un ins-

* Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica (CIAEC). Cátedra de Química Orgánica I. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad de Buenos Aires. Junín 956 (1113) Buenos Aires, Argentina.

Correo electrónico: glorenzo@ffyb.uba.ar

Recibido: 1 de noviembre de 2007; aceptado: 4 de abril de 2008

¹ Un entretenido ensayo que ilustra esta idea es: Ud también puede hablar gaélico, en Asimov, I.: *El secreto del Universo y otros ensayos científicos*, Barcelona, Salvat Editores, 1993, pp. 59-71.

trumento para pensar, crear y transmitir conceptos, métodos y metas que trasciende al lenguaje cotidiano que se caracteriza por la rigurosidad con que se definen sus términos técnicos a la vez que sirve como sistema de recursos para la creación de nuevos significados. Desde finales del siglo XIX el lenguaje de la química se fue desarrollando para satisfacer la propia demanda de los químicos mientras era acompañado por el surgimiento de diversas formas de representación con diferentes grados de refinamiento, para visualizar, comprender e interpretar los hechos, para hacer visible un mundo invisible o inaccesible (Del Re, 2000). Así, la necesidad de transmitir gran cantidad de información en un formato simbólico bidimensional y simplificado dio origen a diversos sistemas representacionales como resultado de una serie de operaciones de selección de algunas de las propiedades del objeto referenciado y que aparecen de forma explícita en los aspectos formales de la notación (Martí y Pozo, 2000). Esta práctica derivó en la construcción de modelos, muchos de los cuales se basan en el uso de representaciones gráficas, aprovechando el hecho de que la particular disposición espacial de las marcas sobre la superficie encierra un significado que intenta representar un referente real, construido o imaginado (Postigo y Pozo, 2004). En el mundo cotidiano suele asumirse que las imágenes (información gráfica) presentan una serie de ventajas sobre otros tipos de información (como la verbal, por ejemplo), porque por su carácter icónico pueden considerarse universales, sirven para representar un amplio espectro de ideas de forma clara, simple y concreta, y porque para interpretarlas sólo basta la intuición. En realidad, esto no resulta así en la mayoría de las ocasiones ya que su interpretación es más difícil cuando la información gráfica hace referencia a conceptos científicos de elevado nivel de abstracción (imagine el lector una proyección de Fisher para el ácido meso-tartárico o la representación orbital del aleno, por ejemplo).

A pesar de sus obvias limitaciones, estas representaciones constituyen para todos los fines prácticos las herramientas primarias con las que cuentan los químicos para su diaria labor. En este sentido, también han desarrollado y adoptado una serie de técnicas y convenciones; es decir, determinados códigos que permiten interpretar, aplicar, intercambiar, modificar, en definitiva, operar con dichas representaciones en un delicado intercambio con la química experimental, de manera tal que muchas veces se pierde de vista el carácter simbólico, convencional y arbitrario de la representación.

En los últimos tiempos, los avances tecnológicos e informáticos han promovido un crecimiento de los diferentes sistemas simbólicos, tanto que a finales del siglo XX este lenguaje de modelos, símbolos y representaciones ha pasado a ser un tema central de discusión y de reflexión (Jacob, 2001). Así, el discurso relacionado con los sistemas externos de representación ha ganado la atención debido a las dificultades que surgen en las aulas por su implementación. Nadie duda hoy sobre la necesidad del conocimiento y el dominio del lenguaje científico para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Johnstone, 2000; Treagust y col., 2003) y la particular aten-

ción que requiere el aprendizaje de la información gráfica, ya que cuando se desarrollan determinados contenidos se emplea un lenguaje especificado por el modelo teórico que se adopta explícita o implícitamente. Por tanto, el aprendizaje de la química implica necesariamente conocer y comprender su lenguaje (Wellington y Osborne, 2001), dado que el modo particular y característico como se representan los conceptos, evidencia el carácter evolutivo del pensamiento sobre ellos (Mortimer, 2001).

Precisamente, algunos de los problemas de aprendizaje de la química se relacionan con carencias lingüísticas de los estudiantes que obstaculizan la comunicación en clase, oral o escrita, tanto en la comprensión del discurso como en la capacidad de expresión de sus propias ideas (Martínez-Otero, 2004). Si bien los estudiantes utilizan el lenguaje técnico suelen mostrar una deficiente comprensión del mismo (Blanco y col., 2006; Lorenzo y Schapira, 2000; Pozo y Lorenzo, 2007). En este sentido, cuando un estudiante se enfrenta por vez primera con los sistemas representacionales, y de hecho suele hacerlo con más de uno simultáneamente, debe superar la barrera que implica ser un "no iniciado". El estudiante necesita tomar conciencia del carácter representacional del modelo, comprender sus significados más profundos y aprender a operar con y sobre ellos y, con todo, aprender química.

En este trabajo analizamos comparativamente las posibilidades de los estudiantes para resolver ciertas tareas para indagar la incidencia de las explicaciones del profesor.

Método

El escenario de la investigación. La información fue recabada durante las clases prácticas obligatorias del primer curso de Química Orgánica.² Corresponden a clases de resolución de problemas en las cuales no se realizan trabajos de laboratorio,³ estructuradas mayormente de modo expositivo. Se trata de sesiones semanales de cuatro horas corridas de duración, con una asistencia promedio de ochenta alumnos, a cargo de un docente con el que colaboran de uno a tres auxiliares. Se desarrollan en aulas de tipo anfiteatro con gradas y bancos atornillados al piso, y una tarima en donde se ubica el profesor, sin más recursos didácticos que la pizarra.

En este trabajo evaluamos las respuestas de alumnos universitarios argentinos de las carreras de Farmacia y Bioquímica, sobre dos temas totalmente novedosos para la gran mayoría (si no para la totalidad) de ellos, dado que no se incluyen en los planes de estudio de la educación preuniversitaria ni tampoco en los programas de las asignaturas precedentes.

² Los interesados en conocer más sobre la asignatura y la Facultad pueden visitar la página web: <http://www.ffyb.uba.ar>

³ La asignatura Química Orgánica I(A) dejó de tener trabajos prácticos de laboratorio desde la implementación del Plan de Estudios 1987. Afortunadamente, esta situación será corregida a partir de la aplicación de un nuevo plan próximamente.

Los temas seleccionados fueron Análisis Conformacional (AC) y Métodos Espectroscópicos (Resonancia Magnética Nuclear de Hidrógeno, $^1\text{H-RMN}$) porque para su desarrollo requieren de un vocabulario técnico específico (tensión torsional, conformación, desplazamiento químico, triplete, entre tantas otras), de determinadas notaciones y convenciones para expresar conceptos y del conocimiento de conceptos y procedimientos intelectuales (Lorenzo y col., 2001). Corresponden a una única sesión de clase cada uno, ubicadas curricularmente al comienzo y al final del mismo semestre. Durante la explicación del tema AC, el profesor *construye y muestra* a sus estudiantes los modelos moleculares de moléculas sencillas (etano, butano y ciclohexano y algunos de sus derivados sustituidos) utilizando los modelos de bolas y palitos y los de varillas. Para el desarrollo del tema RMN no se utiliza ningún material adicional, centrándose la clase en la interpretación de espectros para la elucidación de estructuras orgánicas.

Participantes: La población de estudiantes correspondió a una misma cohorte durante los cursos 2005-2006 de Química Orgánica I (segundo semestre) y II (primer semestre) respectivamente.

Entre ambos cursos existe un periodo de tres meses que corresponde a turnos de examen y un mes de receso vacacional. Sobre un total de aproximadamente 1000, participaron voluntariamente 455 estudiantes de ambos sexos. Para la confección de las muestras se procedió a la selección al azar de grupos de clase completos, cada uno de los grupos fue dividido aleatoriamente en cuatro subgrupos para evaluar las respuestas a cuatro preguntas que se describen a continuación.

Tarea: Diseñamos un total de ocho preguntas de lápiz y papel (Anexo) (4 de AC y 4 de RMN), de diferente nivel de complejidad y distintos requerimientos (tabla 2). Se incluyó además una pregunta abierta sobre sus hábitos de estudio.

Procedimiento, Diseño y Análisis de datos: Se aplicó un estudio pretest (R_0), intervención, postest a corto plazo (R_1) y postest a largo plazo (R_2) para evaluar: a) Variación de la respuesta en dos momentos diferentes del aprendizaje (corto y largo plazo). Las R_1 permiten reconocer en qué tipo de pregunta y para cuál contenido se aprecia un mayor efecto de la explicación del profesor, mientras que las R_2 dan información sobre qué tipo de pregunta y para cuál contenido se aprecia un aprendizaje más duradero. b) Efecto del contenido en la producción de respuestas.

En el corto plazo, cada estudiante respondió a una misma pregunta, al inicio y al final de la clase correspondiente a cada uno de los temas. Las R_2 fueron recogidas a partir de la misma población de estudiantes durante el siguiente semestre.

Se plantearon diferentes análisis para responder a las siguientes cuestiones:

- Cómo se distribuyen los porcentajes de respuestas correctas e incorrectas para cada uno de los temas analizados en el corto y en el largo plazo.
- En qué tipo de preguntas se observa un mejor rendimiento de los estudiantes en el corto plazo y en largo plazo para cada uno de los temas.

Tabla 1. Conformación de la muestra.

Curso	Estudio	Tema		Total
		AC	RMN	
Química Orgánica I (segundo semestre 2005)	Corto Plazo (CP)	140	213	353
Química Orgánica II (primer semestre 2006, misma población)	Largo Plazo (LP)	34	68	102
Total		174	281	455

El diseño experimental incluyó las siguientes variables independientes: *Tema*, con dos niveles (AC y RMN), *Condición de producción de las respuestas*, con tres niveles, previo y posterior a la explicación (R_0 y R_1) y a largo plazo (R_2), y *Tipo de pregunta*, con cuatro niveles (CD, CR, PT y PE). Como variable dependiente consideramos las respuestas de los alumnos a las preguntas, que fueron categorizadas como *correctas* (C) (desde el punto de vista químico), *incorrectas* (I) (incompleta, regular, mal) y *no contesta* (NC). En todos los casos, las respuestas fueron confidenciales. Los datos recogidos fueron tabulados y posteriormente analizados. Para el análisis cualitativo atendimos el comentario de los estudiantes respecto al estudio previo del tema.

Resultados y discusión

A grandes rasgos observamos que después de la explicación del profesor, las respuestas mejoran en el uso del lenguaje técnico, aunque sigue siendo impreciso respecto de la redacción. Si bien, los estudiantes afirmaron que habían estudiado el tema antes de asistir a clase (AC = 85.5%; RMN = 68%), el bajo número de respuestas correctas mostró que sus conocimientos resultaron insuficientes para la resolución de las tareas. Nuestros resultados cuestionan la idea acerca de que los estudiantes estudian “de memoria”, dado que la solicitud de redactar la definición de un concepto clave al inicio de la clase (CD- R_0) condujo a pobres resultados.

Tabla 2. Características de las preguntas.

Tipo de pregunta	Nivel	Requerimientos
Conceptual	Declarativo (CD)	Definición de concepto clave.
	Relacional (CR)	Requiere relacionar dos o más conceptos para elaborar una conclusión. (Por ej. comparación de estabilidad entre conformaciones).
Procedimental	Técnica (PT)	Requiere la aplicación de un procedimiento sencillo para arribar a la respuesta (Por ej. traducción entre diferentes tipos de fórmulas estereoquímicas).
	Estratégica (PE)	Requiere la combinación de dos o más procedimientos en una secuencia estratégica para elaborar la conclusión (Por ej. traducción de nombre a fórmulas estereoquímicas).

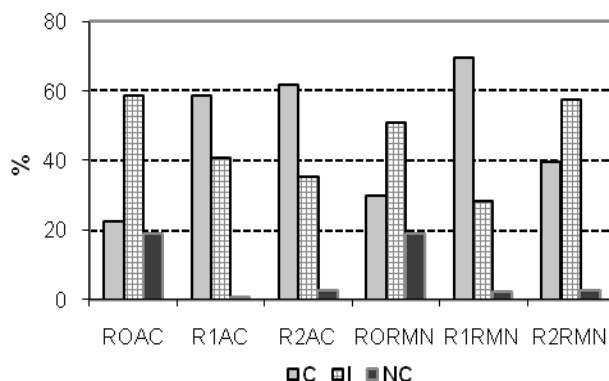


Gráfico 1. Porcentaje de tipo de respuestas.

R₀: pretest; R₁: respuesta postest corto plazo; R₂: respuesta a largo plazo.

AC: Análisis Conformacional; RMN: Resonancia Magnética Nuclear. C: Respuesta correcta; I: Incorrecta; NC: no contesta.

Luego de las explicaciones del profesor (R₁) como en el largo plazo (R₂) para ambos contenidos se registra un aumento de respuestas correctas y, fundamentalmente, una disminución de “no contesta” a expensas de nuevas respuestas aunque incluyeran algún tipo de error (gráfico 1). Es decir, los alumnos que optaron por no responder inicialmente, pudieron hacerlo una vez finalizada la clase y también intentaron resolver la tarea meses después de finalizado el curso. Aunque se obtiene una mayor proporción de respuestas correctas luego de la explicación del profesor sobre RMN, este efecto parece ser menos duradero que en el caso de AC, dado que reaparecen de manera importante las respuestas incorrectas.

El gráfico 2 muestra el promedio de respuestas correctas para ambos contenidos en relación al tipo de pregunta y el momento de su registro. Allí se observa que en el momento previo a la explicación (R₀), como era esperable, se obtuvo la menor proporción de respuestas correctas, y en particular para las preguntas que exigían un conocimiento de tipo procedimental. Luego, para (R₁) se observó un aumento importante de respuestas correctas para todas las preguntas. En este punto, tanto el efecto residual de la pregunta inicial conocido como “learning by test” (Mozer y col., 2004), como el recuerdo, ejercerían su influencia en el incremento de respuestas correctas. Pero además, el cambio en la calidad de las respuestas permite evidenciar el impacto de la explicación del profesor, al menos en el corto plazo. Este efecto es especialmente notorio en el aprendizaje de procedimientos, sobre todo aquellos que implican ciertos niveles estratégicos, donde la modelización que realiza el profesor durante su explicación resulta muy importante.

En las respuestas obtenidas en el largo plazo (R₂) se observa una mayor homogeneidad en las proporciones de respuestas correctas. Si bien se observó un incremento en relación con las respuestas correctas obtenidas inicialmente, en general, hay un descenso respecto de las obtenidas en el corto plazo. Esto puede interpretarse como que una vez aprendidos

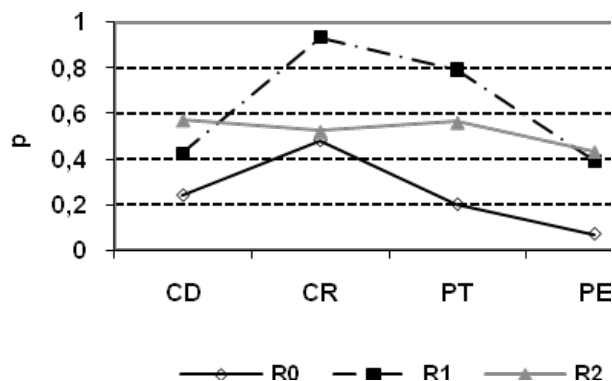


Gráfico 2. Promedio de respuestas correctas.

CD: Conceptual declarativa; CR: Conceptual relacional; PT: Procedimental técnica; PE: Procedimental estratégica.

ciertos conceptos y procedimientos, la dificultad relativa entre ellos se hace menos importante, además de minimizarse el efecto del recuerdo inmediato de la explicación del profesor.

Con respecto al grado de dificultad de cada una de las preguntas para cada uno de los temas, el gráfico 3 muestra la proporción de respuestas correctas para cada pregunta, donde se evidencia que el contenido determina la calidad de las respuestas. Para AC, la explicación del profesor resulta particularmente importante para las preguntas de tipo procedimental (PT y PE), para las cuales se requiere del reconocimiento de las convenciones para la traducción entre distintas proyecciones estereoquímicas y de la traducción de un sistema verbal de representación a proyecciones estereoquímicas, procesos que ya habían demostrado resultar complejos para los alumnos (Lorenzo, 2001), mientras que para RMN, los mayores efectos se observaron para las preguntas CR y PT. Entre los principales errores detectados en RMN (R₀) figuran dificultades en cuanto al uso del vocabulario técnico (confundir un concepto por otro), no reconocer las diferentes calidades de hidrógeno y no reconocer la simetría molecular, situaciones que fueron corregidas con posterioridad a la explicación (R₁). La pregunta PE es la que presenta un alto grado de dificultad para la mayoría de los estudiantes, aun después de haber escuchado la explicación del profesor.

Si bien no puede establecerse una correlación entre el tipo de contenido y las proporciones de respuestas correctas, estos resultados muestran que en las preguntas tipo PE para espectroscopía, los requerimientos necesarios para su resolución resultaron más conflictivos para los estudiantes que los de AC. En este caso, debemos tener en cuenta que, a diferencia de AC cuyos conceptos pueden intentar visualizarse a partir de representaciones externas próximos a nuestros sentidos, el estudio de RMN requiere necesariamente conocimientos previos de física (ondas electromagnéticas, campos, momento, etc.) y de los modelos y teorías que lo sustentan.

El postest puso de manifiesto una mejora en la posibilidad

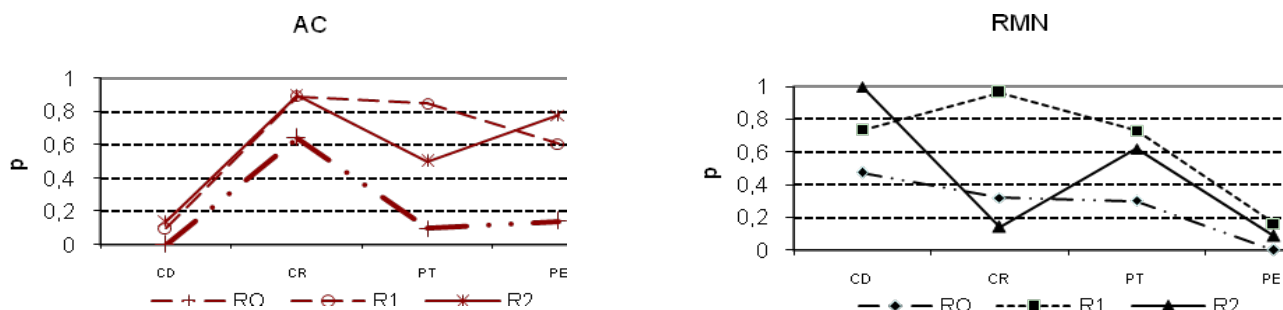


Gráfico 3. Proporción de respuestas correctas para cada tipo de pregunta

$$(p = \text{Número Respuestas correctas } X / \text{total de respuestas } X)$$

R₀: pretest; **R₁** respuesta postest corto plazo; **R₂**: respuesta a largo plazo. **AC**: Análisis conformacional; **RMN**: Resonancia magnética nuclear. **CD**: Conceptual declarativa; **CR**: Conceptual relacional; **PT**: Procedimental técnica; **PE**: Procedimental estratégica.

de los alumnos para relacionar conceptos y en la aplicación de procedimientos sencillos. En cambio, la tarea que exige un procedimiento estratégico para su resolución, si bien mejora en cuanto a la elaboración de una respuesta, es aún insuficiente para el caso de la espectroscopía, lo que da cuenta de su mayor grado de dificultad.

Conclusiones y reflexiones didácticas

Respondiendo a la pregunta con que titulamos este trabajo, la respuesta parece ser afirmativa. Nuestros resultados evidencian que la participación del profesor es insustituible como facilitador del aprendizaje de sus alumnos, tanto en un aumento de respuestas correctas, como por el aumento de respuestas totales. Especialmente, favorecen en mayor grado el aprendizaje de procedimientos que el de conceptos; es decir, que la explicación del profesor, aunque se base en una larga exposición personal con escasos recursos materiales, otorga cierto nivel de confianza a los estudiantes como para arriesgar una respuesta. Aunque se observó una disminución en las respuestas correctas en el largo plazo, nuestros resultados sugieren cierta durabilidad en los aprendizajes (lo que nos parece altamente satisfactorio). A pesar de que los temas no formaban parte de la currícula en el momento de pasar el cuestionario, pudimos observar que los estudiantes aún podían resolver las tareas correctamente (o al menos lo intentaron), lo que daría cuenta de sus aprendizajes genuinos y no sólo de recuerdos memorísticos. Si bien en estas circunstancias la explicación del profesor puede considerarse como un componente más de la diversidad de factores que inciden en el aprendizaje de los alumnos, creemos que no es un ingrediente menor. Fundamentalmente, su incidencia puede observarse en el uso del lenguaje técnico, el respeto por las convenciones de las notaciones químicas y en los procedimientos necesarios para la resolución de las tareas.

De la experiencia realizada puede derivarse que la estrategia de iniciar la clase con una pregunta a resolver por los estudiantes puede resultar de utilidad para llamar la atención sobre ciertos contenidos que serán desarrollados luego durante la explicación. De este modo se lograría una mejor predispo-

sición de los alumnos por el tema de estudio. El profesor, a través de su explicación, actúa como modelo frente a sus estudiantes intercambiando sutilmente su rol de experto por el de aprendiz. De esta manera, enseña a sus estudiantes a cómo enfrentarse a los problemas de la química, a interpretar su lenguaje y a compartir sus significados. Será tal vez por ello, que la relación profesor-alumno ha perdurado tanto y es nuestro anhelo que nunca se pierda.

Agradecimientos

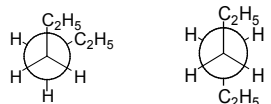
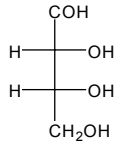
Agradecemos los comentarios del Prof. Onno de Jong durante el desarrollo de este trabajo. La investigación y redacción de este artículo fue realizado con el financiamiento recibido a través de los siguientes proyectos de investigación: UBACYT B-051 (2004-2007), PICT 2005 N° 31947, y PICT-O 2005 N° 35552.

Referencias

- Blanco, M., Caterina, C. Salerno, A., Reverdito, A. y Lorenzo, M.G., La explicación en clase y su impacto en los aprendizajes de estudiantes universitarios, *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, **21**, 289-293, 2006.
- Campanario, J.M., ¿Qué puede hacer un profesor como tú con una clase tan masificada como ésta?, *Docencia Universitaria*, **3**(1), 27-42, 2002.
- Coll, C. y Onrubia, J., La construcción de significados compartidos en el aula: actividad conjunta y dispositivos semióticos en el control y seguimiento mutuo entre profesor y alumnos. En: C. Coll y D. Edwards. *Enseñanza, aprendizaje y discurso en el aula. Aproximaciones al estudio educacional*. Madrid: Alianza Aprendizaje, 1996
- del Re, G., Models and analogies in science, *Hyle. Inter. J. for Phil. Chem.*, **6**(1), 5-15, 2000.
- Edwards, D. y Mercer, N. *El conocimiento compartido: El desarrollo de la comprensión en el aula*. Barcelona: Paidós. 1994.
- Jacob, C., Analysis and Synthesis. Interdependent Operations in Chemical Language and Practice, *Hyle. Inter. J. for Phil. Chem.*, **7**(1), 31-50, 2001.
- Johnstone, A. H., Teaching of chemistry—logical or psycho-

- logical? *Chem. Educ. Res. Prac. in Europe*, **1**(1), 9-15, 2000.
- Lorenzo, M.G., *Química Orgánica: su enseñanza y aprendizaje en la universidad*. Tesis doctoral Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, 2001.
- Lorenzo, M.G. y Rossi, A., Análisis de las estrategias didácticas presentes en el discurso del profesor universitario de química orgánica, en: Campos Hernández, M.A. y Gaspar, S. (eds). *Construcción de conocimiento y procesos pedagógicos involucrados* (en prensa), 2007.
- Lorenzo, M.G. y Schapira, C. Comprender la química en la universidad: Algo más que fórmulas. *Información Tecnológica*, **11**(5), 89-94, 2000.
- Lorenzo, M.G., Reverdito, A.M., Perillo, I. y Salerno, A., Los contenidos procedimentales en el laboratorio de química orgánica para la formación docente, *J. Sci. Educ.*, **2**(2), 102-105, 2001.
- Martí, E. y Pozo, J.I., Más allá de las representaciones mentales: la adquisición de los sistemas externos de representación, *Infancia y Aprendizaje*, **90**, 11-30, 2000.
- Martínez-Otero, V., La calidad del discurso educativo: Análisis y regulación a través de un modelo pentadimensional, *Rev. Complutense de Educación*, **15**(1), 167-184, 2004.
- Mortimer, E., Perfiles conceptuales: Modos de pensar y modos de hablar en las clases de ciencias, *Infancia y Aprendizaje*, **24**, 475-489, 2001.
- Mozer, M., Howe, M. y Pashler, H. Using testing to enhance learning: A comparison of two hypotheses, 2004. Consultado por última vez el 14 de diciembre de 2005 en la URL <http://www.cogsci.northwestern.edu/cogsci2004/papers/paper463.pdf>
- Postigo, Y., y Pozo J.I., In the road to graphicacy: The learning of graphical representation systems, *Educ. Psycho.*, **24**, 623-644, 2004.
- Pozo, J.I. y Lorenzo, M.G. (in press) Representing organic molecules: the use of chemical languages by university students. En: E. Teubal; N. Scheuer; M.P. Pérez Echeverría y Ch. Andersen (eds.). *Representational systems and practices as learning tools in different fields of knowledge*. Londres: Sense Publications, 2007.
- Rossi, A. & Lorenzo, M.G., *Construcción de conocimiento en aulas universitarias: un estudio desde el discurso en clases de química*, VIII Seminario Internacional de Epistemología, Cognición y Enseñanza de las Ciencias, Universidad Intercontinental México, octubre 13, 2006.
- Treagust, D.F., Chittleborough, G., and Mamiala, T.L., The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations, *Inter. J. Sci. Ed.*, **25**, 1353-1368, 2003.
- Wellington, J. and Osborne, J., *Language and literacy in science education*, Open University Press, Buckingham, Philadelphia, 2001.
- Zabalza, M.A. *Competencias docentes del profesorado universitario*. Narcea: Madrid, 2007.

Anexo

Tipo de pregunta	Nivel	Ejemplo AC	Ejemplo RMN
Conceptual	Declarativo (CD)	¿Qué es la tensión torsional?	¿Qué significa la sigla ¹ H-RMN?
	Relacional (CR)	¿Cuál de las siguientes conformaciones es más estable? 	Indique cuál o cuáles de las siguientes opciones corresponden a la frecuencia de la radiación electromagnética requerida para llevar a cabo un experimento de RMN: a) ultravioleta d) radio b) infrarrojo e) microondas c) visible
Procedimental	Técnica (PT)	Represente el siguiente compuesto en proyecciones de Newman y en caballete 	Indique cuántos tipos de cualidades de hidrógenos puede reconocer en la siguiente molécula. Señálelos. $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{Br} \quad \text{OH} \end{array}$ a) tres d) seis g) once b) cuatro e) siete c) cinco f) nueve
	Estratégica (PE)	Represente propano en proyecciones de Newman y en caballete	Indique el número y multiplicidad de las señales que esperaría ver en un espectro de ¹ H-RMN del siguiente compuesto 