

# En busca del perfeccionamiento de una asignatura de introducción a la química en la enseñanza universitaria

José Cláudio Del Pino,<sup>1</sup> António F. Cachapuz<sup>2</sup>

## ABSTRACT

In this paper we critically analyze a successful case of an introductory Chemistry course at the University of Aveiro, Portugal. Our goal was to identify the main characteristics of the innovations carried out which may tentatively explain the high rate without lowering academic standards. Data collected from different pieces of information were cross analyzed and four characteristics emerged: lectures were organized so as to actively involve students in the learning process; teaching was organized to stimulate the students for the study of Chemistry and also so as to reflect the way Chemistry is done; course coordination ensured an appropriate balance between pedagogical coherence within the group and the individual initiatives of staff members. Overall, these aspects reveal a clear shift from traditional teacher-centered practices to student-centered instruction congruent with constructivist ideas.

**KEY WORDS:** first-year undergraduate; chemical education; student-centered learning; professional development

La experiencia no es lo que nos ocurre sino lo que hacemos con lo que nos ocurre

*Aldous Huxley*  
1894-1963

## Introducción

Según el filósofo griego Platón, un hombre sabio aprende con sus experiencias y un hombre más sabio aún aprende con las experiencias de los otros. Algunas mejoras que están ocurriendo en asignaturas introductorias de química en el contexto universitario, son un buen ejemplo en que se aplica este argumento, una vez que ha sido frecuentemente reconocido en la literatura, que este tipo de asignaturas de inicio de carrera crean serias dificultades, tanto para profesores como para estudiantes universitarios. En relación a los profesores, parte del problema reside en el hecho de que el tamaño grande de los grupos demanda una considerable inversión de tiempo y hace que perspectivas pedagógicas innovadoras, que pudieran conducir a un aprendizaje significativo por parte de los alumnos, resulten ser más difíciles de implementar. Esta tensión no es fácil de resolver. En relación a los estudiantes, o simplemente no les gusta el tema y la mayoría entra a clase solamente para cumplir una exigencia del programa de su curso de

graduación, o presentan, frecuentemente, ideas erróneas de muchos conceptos fundamentales de química; por otro lado, también se constata que sus estrategias de aprendizaje se centran en la memorización (Seeman, 2005). Al mismo tiempo, “los libros de ciencia del siglo XXI deben tener muchos más elementos que los libros tradicionales, donde sólo se desarrollan conocimientos científicos, sin preguntarse acerca de su origen, de su fiabilidad, de cómo se obtuvieron... qué beneficios reportan para la sociedad, y otras cuestiones en relación con la naturaleza de la ciencia (Garritz y col., 2005). Los mismos autores analizan las características deseables para un libro de texto de ciencias, en general, y de uno sobre Química General, en particular.

Una de las consecuencias de esta situación es el alto índice de repetición y deserción que sucede en muchos países en las asignaturas introductorias de química. Aún que los métodos de enseñanza especialmente desarrollados para cambiar esta situación sean citados desde hace algún tiempo por diversos autores, entre ellos Hanson and Wolfskill (1998), los modelos clásicos de enseñanza para las asignaturas introductorias de química, normalmente, vinculan clases teóricas rutinarias, de alta velocidad de presentación de contenido químico, para un público más o menos pasivo. Como señala Hutchinson (2000), el tema es inicialmente introducido en clases expositivas y complementado a través de demostraciones exploratorias de conceptos y sus aplicaciones, así como por medio de ejercicios extraclase y evaluaciones, que son, en su mayoría, pruebas que requieren competencias de resolución de problemas numéricos y descriptivos y memorización de hechos.

En este artículo —basado en el post-doctorado en Educación Química del primer autor (Del Pino, 2004)—, analiza-

<sup>1</sup> Instituto de Química, Universidad Federal de Río Grande do Sul, Brasil, delpinojc@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Didáctica y Tecnología Educativa, Universidad de Aveiro, Portugal, cachapuz@ua.pt

**Recibido:** 4 de octubre de 2007; **aceptado:** 16 de febrero de 2008.

mos críticamente un caso de innovación reciente relacionado con la enseñanza de la asignatura de Química I del Departamento de Química de la Universidad de Aveiro, Portugal. En esta universidad, los estudiantes cursan Química I en el primer semestre (período de 15 semanas). Esta asignatura es común para una serie de cursos de graduación universitaria en Ciencias e Ingeniería que tienen una duración de cuatro a cinco años, como es el caso de Ingeniería Química, Química, Física y Química, Biología, Ciencias Ambientales. De un modo general, esta asignatura, normalmente, se ofrece a 230 estudiantes por semestre, estudiantes con conocimientos previos de química variados y cuya mayoría hace cursos de graduación en áreas diferentes a la de química.

La estructura de la asignatura estaba organizada en clases teóricas de una hora de duración —dos veces por semana—, una hora por semana de clases teórico-prácticas y dos horas por semana de sesiones de laboratorio realizadas en laboratorios bien equipados. Esta estructura es típica en muchos cursos, sin embargo, lo que ha cambiado fue la perspectiva de gestión de currículum. El currículum estaba organizado en dos partes principales, de aproximadamente la misma extensión. La primera parte trataba del estudio de conceptos cotidianos sobre agua y soluciones acuosas y estudiaba tópicos como: estructura del agua, fuerzas intermoleculares, propiedades físicas de soluciones, el agua como solvente, solubilidad, interacciones hidrofóbicas, osmosis, purificación del agua y reacciones ácido-base. La segunda parte abordaba la arquitectura molecular y tópicos como: teoría cuántica y estructura electrónica de átomos, configuración electrónica y distribución de energía, enlaces químicos y su relación con grupos funcionales de química orgánica, isomería óptica y moléculas quirales, efecto Tyndall y cristales líquidos. La asignatura fue planeada con la idea de un currículum en espiral y se consideraron apropiados aspectos tecnológicos con impacto sobre el cotidiano tomando en cuenta la motivación de los alumnos. En el segundo semestre del mismo año los estudiantes cursaron la asignatura Química II (15 semanas) realizando el estudio de dos tópicos principales: electroquímica y química nuclear.

Este caso fue seleccionado para un análisis crítico porque la asignatura Química I presentaba, generalmente, altos niveles de reprobación, como ocurre en varias asignaturas similares en universidades portuguesas (normalmente un 40%), situación parcialmente resultante del aumento masivo de la población universitaria ocurrido después de la revolución de 1974, cuando aumentó de aproximadamente 80,000 hasta 380,000 estudiantes. Sin embargo, desde el año 2000, inicio del programa continuo de mejoría de calidad desarrollado por los profesores participantes en este estudio, los índices de reprobación en esta asignatura fueron gradualmente reducidos y alcanzan, actualmente, la aprobación de un 96% de los estudiantes, con calificaciones individuales variando entre 5 y 18 (nota máxima, 20), y con calificación promedio 12 (calificación máxima, 20). Aunque la nota promedio sea moderada, ésta se ha mantenido en los últimos cinco años y no ha signi-

ficado una disminución de exigencia académica en la asignatura, según lo indican los procesos de evaluación del aprendizaje. Incluso los estudiantes fueron evaluados continuamente y esta evaluación vinculaba componentes teóricos y prácticos. Los primeros correspondían al 65% de la nota de la asignatura (tres pruebas escritas por semestre, incluyendo un examen de recuperación), ya el componente práctico correspondía a un 35%, referente a trabajos de laboratorio. En ambos casos el foco era colocado en el proceso de raciocinio y entendimiento conceptual, y no en la simple memorización (en este texto se comentarán, posteriormente, más detalles sobre la evaluación). La perspectiva general, subyacente a la evaluación, era que ésta debería ser entendida como un instrumento de aprendizaje y no solamente de calificación. Los resultados de la evaluación interna de la asignatura, realizada por los alumnos, también indicaron una respuesta altamente positiva. Según lo han relatado ellos mismos, había un ambiente adecuado para el aprendizaje. Desde nuestro punto de vista, una buena parte de este éxito es el resultado del programa continuo de mejoría de calidad, iniciado en 2000 por el Departamento de Química y que ha tenido como objetivo modificar los altos índices de reprobación de los estudiantes iniciantes. Nuestro objetivo fue simplemente obtener un mejor entendimiento de esta experiencia educativa positiva, mostrar la articulación entre investigación e innovación en la enseñanza universitaria y suministrar eventuales pistas posibles de trabajo para perfeccionar la Educación Química sin hacer ningún tipo de prescripción, una vez que se debe tener en mente que las experiencias de enseñanza no son necesariamente transferibles.

La pregunta central ha sido: ¿cuáles son las características principales que hacen de éste un caso diferenciado en el contexto portugués? En particular, ¿cuáles son los tipos de innovación efectuados que pueden ayudar a explicar los altos niveles de éxito observados?

## Metodología

Desde 2003 hasta 2005 fue efectuado un amplio análisis de índole cualitativa del proyecto del curso, directrices curriculares, materiales de enseñanza usados en las clases teóricas y teórico-prácticas, seminarios y clases de laboratorio. Es importante señalar la organización en espiral del enfoque curricular, en ruptura con enfoques tradicionales de tipo jerarquizado. Por ejemplo, en este caso se ha iniciado a partir del tema generador “estudio del agua y soluciones acuosas”, involucrando el estudio profundo de sus propiedades físico-químicas y las implicaciones en lo cotidiano. La intención era empezar con algo familiar para el alumnado y explorar implicaciones en el cuadro de una visión CTS. Más tarde se ha abordado la estructura atómico-molecular de la materia.

Se analizó el material de los 120 estudiantes y se realizaron grabaciones de entrevistas individuales (de aproximadamente dos horas cada una) con el coordinador y el cuerpo docente integrante de la asignatura (exceptuando a tres tutores de laboratorio). Fueron efectuadas diez entrevistas subsecuentes con los alumnos, para aclarar cuestiones de transcripción refe-

rentes a entrevistas anteriores. Cada entrevista fue analizada por separado por los dos autores y las interpretaciones no consensuales fueron descartadas (aproximadamente el 7% del total para minimizar interpretaciones subjetivas). También a los alumnos se les distribuyeron cuestionarios específicos sobre el uso de las preguntas que ellos mismos realizaron en clase. Datos recolectados a través de estas diferentes fuentes de información fueron analizados exhaustivamente, usando el método de comparación permanente (Glazer and Strauss, 1967) y fueron sistemáticamente clasificados en cuatro categorías-clave articuladas y que resumen lo esencial de la innovación ocurrida: participación activa de los estudiantes en el proceso de aprendizaje, estímulo a los alumnos para el estudio de química, estrategias de enseñanza innovadoras, y coordinación de la asignatura. Cada una de estas categorías se presenta a continuación en forma de proposición principal. Como un todo, expresan un direccionamiento hacia un modelo de enseñanza de química centrado en el estudiante, consecuente con perspectivas constructivistas (Taber, 2000).

## Resultados

*Proposición uno:* las clases teóricas —en particular— deben ser organizadas de modo a involucrar activamente a los estudiantes en el proceso de aprendizaje.

Normalmente, en las clases teóricas los estudiantes son meros espectadores. Es importante utilizar estrategias con vistas a la participación activa de los alumnos (Ikuenobe, 2001; Rogerson, 2003). En este curso, los estudiantes eran fuertemente incentivados a proponer preguntas orales y escritas durante y después de las clases teóricas. Frecuentemente, durante las clases teóricas, había pausas de tres a cinco minutos para permitir a los estudiantes (aproximadamente 120 estudiantes por clase), confrontar sus apuntes, hablar con los compañeros próximos y hacer preguntas sobre el contenido enseñado hasta el momento; en suma, explorar el lenguaje para una mejora del aprendizaje (Mortimer, 2000). Esta estrategia les permitió interactuar con sus pares a fin de aclarar sus dudas, los ayudó a estructurar su aprendizaje e introdujo una atmósfera animada en sala de aula. Después de la clase, a través de computadoras estratégicamente colocadas en algunos puntos del campus universitario, los estudiantes se identificaban y proponían sus preguntas utilizando un sistema intranet y recibían un rápido retorno del profesor, con explicaciones, recomendaciones, sugerencias de otras lecturas, además de estímulo para presentar más dudas. El software instalado también les permitió a los estudiantes enviar sus preguntas desde fuera del campus universitario a través del sistema internet. Las respuestas a preguntas individuales eran posteriormente colocadas a disposición para todo el grupo de estudiantes. Detalles sobre esta innovación se describen en otros textos (Pedrosa de Jesus *et al.*, 2003; Souza, 2006). Esta técnica proporcionó una evaluación permanente del progreso del grupo y, con el tiempo, la naturaleza de las preguntas descriptivas, como por ejemplo: “¿qué es la lluvia ácida?”, evolucionaron hacia preguntas más complejas, por ejemplo; “¿cómo es posible que

el plástico, generalmente un mal conductor de electricidad, pueda ser transformado en un superconductor?”. Souza (2006) hace referencia (con base en resultados de cuestionarios distribuidos a los alumnos) a que cerca de un 50% de ellos consideran que fueron motivados a formular preguntas vía intranet o internet debido a su frecuencia en las clases; la mayoría declara que la principal motivación para hacer preguntas fue la curiosidad y obtener respuestas a dudas específicas, al mismo tiempo que destacan la importancia de haberlas conseguido: “sentí que mis preguntas eran respondidas en el transcurso de las clases”. Curiosamente, cerca de un 75% de los alumnos considera que fue en las clases prácticas donde surgió un mayor número de preguntas, tal vez debido a las nuevas exigencias de trabajo científico que en ellas empezó a ser desarrollado, muy diferente al de la enseñanza tradicional (ver proposición 3).

*Proposición dos:* la enseñanza de la química debe promover una cultura de trabajo y estimular para su estudio.

Aprender siempre implica esfuerzo. Profesores con una buena experiencia saben muy bien lo difícil que es estimular a los estudiantes, particularmente en asignaturas introductorias, por la gran variedad de intereses y de conocimientos previos. Uno de los caminos posibles escogido en esta asignatura fue la realización de clases-conferencia, ofrecidas fuera de la carga horaria de la asignatura (cinco veces al año), con la opción de que el estudiante participase voluntariamente. Este tipo de clase especial fue también ofrecida en la asignatura Química II (en el segundo semestre) y ha incluido tópicos de química de amplio interés científico, social y tecnológico, tales como: oxígeno/hemoglobina: un ejemplo de cooperativismo químico, nanomateriales, reacciones oscilantes, difractograma de rayos X del DNA, bacterias y células de combustibles, y, origen de los elementos químicos. La idea general ha sido que estos tópicos podrían aumentar la percepción de los estudiantes de química en relación a su vida cotidiana. Como fue explicado por el coordinador de la asignatura (profesor A);

“Estas clases fueron, intencionalmente, no incluidas en el horario del curso regular y fueron generalmente frecuentadas por estudiantes altamente motivados. Las mismas pretendían estimular y aumentar la curiosidad de los estudiantes de química y ayudarlos a entender que, en materia de conocimiento, no hay espacio para su tradicional dicotomía entre asignaturas obligatorias y electivas”.

Con bastante antelación a las conferencias, les fueron ofrecidas algunas informaciones específicas para facilitar el entendimiento de algunos detalles más complejos abordados en relación a los temas que serían desarrollados. El número de estudiantes que asistió a las conferencias fue variable, generalmente el 25% de los participantes de la asignatura. Actualmente están siendo propuestos algunos procedimientos para aumentar este porcentaje. Por ejemplo, los estudiantes que deseen tener una calificación más alta que 16 (nota máxima

20) deben ser aprobados en un examen extra que incluye preguntas relacionadas con los temas tratados en las clases-conferencia. No obstante, ellos nunca fueron sancionados en caso de que el resultado de este examen extra no fuera satisfactorio.

*Proposición tres:* Las estrategias de enseñanza de química deben reflejar el modo como el conocimiento químico es construido científicamente.

La idea clave de la asignatura era ayudar a los estudiantes a desarrollar un pensamiento crítico y a tener competencia para hacer preguntas, desarrollar una línea organizada de pensamiento y estructurar su aprendizaje del contenido de química. Fue escogido un contexto de aprendizaje por resolución de problemas y se trabajaron estrategias basadas en guías de preguntas, tanto en sesiones de laboratorio como en clases teórico-prácticas.

### Sesiones de clases teórico-prácticas

Estas sesiones de una hora de duración por semana fueron organizadas a partir de soluciones dadas por los estudiantes —25 en cada sesión— a estudios de caso presentados en el inicio de cada encuentro y relacionados con los temas de química previamente presentados en las clases teóricas. El objetivo era valorizar la resolución de problemas y no solamente de simples ejercicios de aplicación.

En general, durante la enseñanza secundaria, estos estudiantes universitarios novatos están más preocupados con obtener buenas calificaciones en los exámenes finales, que en reflexionar críticamente sobre su aprendizaje (profesor B).

Por ejemplo, con la finalidad de hacer un estudio comparativo de la geometría de la molécula del agua, se les solicitó recolectar y analizar críticamente datos relevantes (libro de datos y/o software) relacionados con la geometría molecular, fórmula estructural, momento dipolar, energía de enlace de las moléculas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HF}$  y el estado físico (condiciones normales) de los compuestos correspondientes.

Estos estudios de caso no son simplemente ejercicios de fijación que generalmente consisten en el uso de fórmulas correctas. Éstas son situaciones más complejas que requieren atención cuidadosa y estudio por parte del estudiante. Claro que también presentamos listas de ejercicios para ser resueltos por los estudiantes, por ejemplo, los del libro de L. Jones y P. Atkins: *Molecules, Matter and Change*. No obstante, éstos deben ser resueltos en casa antes de las sesiones de seminarios (profesor A).

Las sesiones fueron organizadas para que los estudiantes pudiesen discutir los resultados obtenidos y las posibilidades de implicaciones prácticas. Como afirma Talanquer (2004), el trabajo del docente “requiere pensar y razonar sobre química con el propósito de enseñarla”.

### Sesiones de laboratorio

Durante las sesiones de actividades investigativas en el laboratorio (dos horas por semana), utilizando una guía de preguntas, los estudiantes (12-14 por clase) trabajaban individualmente, pero sus resultados eran cotejados posteriormente y analizados críticamente con sus colegas. El papel del profesor era dar orientación cuando se encontraba alguna dificultad, para que el estudiante pudiese superarla independientemente. Se esperaba que los estudiantes llegaran a sus propias conclusiones basados en las evidencias experimentales obtenidas y en los materiales disponibles para consulta bibliográfica.

En general, estudiantes iniciantes raramente tuvieron durante la enseñanza secundaria la oportunidad de tener contacto con experimentos de química. Tanto como ha sido posible intentamos crear un ambiente similar al del laboratorio de investigación (profesor A).

Por ejemplo, les fue solicitado a los estudiantes que construyeran un circuito eléctrico a fin de detectar si determinada lista de iones estaba o no, presente en diferentes solventes (por ejemplo,  $\text{NaCl}_{(s)}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ ,  $\text{NaCl}_{(aq)}$ ). Otro experimento fue planear y usar un espectrofotómetro para determinar la concentración de una sustancia en solución acuosa (ley de Beer-Lambert). El objetivo de estos experimentos fue el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes, así como que adquirieran competencias procedimentales y de planeamiento, relacionadas a procesos elementales de análisis cualitativo y cuantitativo. Les fue ofrecido el material necesario para realizar el experimento y no el tipo tradicional de protocolo con una lista de procedimientos para ser seguidos etapa por etapa. Los estudiantes también usaron para realizar registros, un cuaderno de laboratorio individual que quedaba en el departamento y no era de su propiedad. Este cuaderno no era un libro de informes, sino que contenía las observaciones, resultados y dificultades encontradas cuando era realizado el experimento, todo registrado de manera objetiva por los estudiantes a lo largo de la asignatura y fue una importante fuente de información para el análisis de su evolución. Esta evolución y no simplemente el desempeño específico en el trabajo de laboratorio, fue un importante elemento para la evaluación de los estudiantes. Al final de las 15 sesiones de laboratorio fueron invitados a expresar sus ideas sobre la naturaleza de las dificultades encontradas, el progreso alcanzado y sugerencias de cómo mejorar su aprendizaje. Fueron recogidos comentarios como: “las clases prácticas fueron una novedad”; “nosotros éramos los que teníamos que desarrollar nuestro protocolo” e inclusive, “hubo un crecimiento progresivo, por lo menos en relación a la secundaria” (Souza, 2006).

*Proposición cuatro:* la coordinación de la asignatura necesitaría garantizar un apropiado equilibrio entre la coherencia pedagógica dentro del cuerpo docente y la iniciativa individual de sus miembros y debe tener en vista el desarrollo profesional de los jóvenes docentes.

La principal relevancia de la coordinación de la asignatura (un aspecto poco presente en la literatura) deriva de la necesidad de garantizar coherencia pedagógica y didáctica entre un número substancial de miembros del cuerpo docente involucrado y al mismo tiempo catalizar innovaciones. De mayor importancia es la definición del coordinador de la asignatura. Además de la competencia académica y profesional, el mismo debe tener competencia social adecuada —relacionada con trabajo en equipo— y alto reconocimiento profesional de sus pares. La asignatura en estudio incluyó a diez profesores, de los cuales tres eran tutores de laboratorio, estudiantes de doctorado. El coordinador de la asignatura fue un profesor de química altamente calificado con admirable currículum académico (PhD en Química por una conocida universidad Inglesa) y profesional (profesor catedrático). Basado en su fuerte experiencia profesional, tenía absoluta conciencia de los problemas de aprendizaje usualmente presentados por los estudiantes iniciantes. A través de encuentros regulares, formales o informales, el coordinador fue capaz de encontrar el apropiado equilibrio entre la necesidad de garantizar coherencia pedagógica dentro del grupo (o sea, sobre la evaluación y el interés de los estudiantes) y la iniciativa individual de cada miembro del equipo.

“Gran parte del éxito de la asignatura depende de su coordinación. Es por ello que tengo encuentros frecuentes y regulares con mis colegas, generalmente cada dos semanas en el caso de las sesiones de laboratorio. Pienso que los profesores deberían ser capaces de trabajar en equipo. Coordinación no implica una absoluta sintonía entre los miembros del equipo. Defiendo un modelo que incluya pequeños ajustes de contenido de la asignatura según los diferentes cursos universitarios, dependiendo de la evaluación y de los intereses de los estudiantes. Esto significa que algunos tópicos son más desarrollados por algunos de mis colegas... He desarrollado el hábito de reflexionar sobre cómo enseñar, y doy lo mejor de mí para mirar la química a través de los ojos de mis alumnos” (profesor A).

Estas reuniones de coordinación ofrecieron el contexto adecuado para analizar críticamente el éxito y el fracaso alcanzados e intencionalmente aprovechado para promover el desarrollo profesional de los profesores con menos experiencia. La satisfacción demostrada por ellos tiene relación con el hecho de haber participado en una experiencia de enseñanza innovadora, de larga duración, centrada en aspectos específicos de su actividad y en el contexto de la sala de aula, aspectos generalmente referidos como decisivos para el desarrollo profesional de los profesores (Johnson, 2007).

### Conclusiones

Reforzar asignaturas básicas de ciencias es una primera etapa para alcanzar una mejoría a largo plazo en la educación de ciencias (Baez-Galib, Colón-Cruz y Resto, 2005). A nuestro modo de ver, una buena estrategia para mejorar la enseñanza

universitaria de química es identificar y comunicar buenas prácticas. El análisis de la asignatura Química I presenta un claro cambio de la enseñanza tradicional, centrada en el profesor, por un método de enseñanza centrado en el estudiante, alineado con perspectivas constructivistas y que tiene como resultado una mejora en los niveles de éxito de los alumnos. De alguna forma, esto significó un esfuerzo por parte de los profesores para observar el currículum de química “a través de los ojos de los estudiantes” y una preocupación genuina por su aprendizaje y no solamente con cumplir el contenido de la disciplina. Ésta no fue una tarea fácil. Las mejorías fueron realizadas durante varios años, siguiendo un modelo, paso a paso, apoyado por una continua reflexión crítica. El desarrollo de esta reflexión crítica en la asignatura, en conjunto con el cuerpo docente, es en nuestra opinión un buen instrumento que tienen los profesores universitarios para promover cambios en su metodología de enseñanza. En particular, fue a través de la reflexión crítica que, en este caso, fueron capaces de transformar varios resultados de investigación en innovaciones en sala de aula, una dificultad frecuentemente reconocida en educación química. La presencia de profesores prestigiosos y con experiencia, durante el primer año de los cursos, parece ser una decisión sabia a ser tomada por los departamentos de química. En el caso presente, el modelo utilizado ha tenido continuidad localmente. Por cierto, será necesario encontrar mejores incentivos para que los docentes universitarios puedan dedicar más tiempo a las innovaciones en la enseñanza de química (Felder, 2004). También es necesario asegurar la sustentabilidad de la innovación, o sea, que el mismo tipo de perspectiva de enseñanza innovadora sea coherentemente desarrollado en otras asignaturas de química y ciencias, un aspecto que significa nuevas responsabilidades en la gestión pedagógica e integrada de los cursos. Por sí solo, éste es un asunto para una investigación futura.

### Agradecimientos

A los autores les gustaría agradecer al Departamento de Química de la Universidad de Aveiro, el apoyo financiero de la Fundación para la Ciencia y Tecnología, POCTI/Portugal y a la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior, CAPES/Brasil.

### Referencias

- Baez-Galib, R., Colón-Cruz, H., Resto, W. y Rubin, M., Chem-2-Chem: a one-to-one supportive learning environment for chemistry, *J. Chem. Educ.*, 82, 1859-1863, 2005.
- Del Pino, C. Relatório de pós doutoramento, Universidade de Aveiro, Portugal, 2004.
- Felder, R., Teaching engineering at a research university: problems and possibilities, *Educ. quim.*, 15(1), 2004.
- Garriz, A., Gasque, L. y Martinez, A. Naturaleza de la Ciencia e Indagación en un Texto de Química Universitaria”, *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso, 2005.
- Glazer, B. y Strauss, A., *The Discovery of Grounded Theory:*

- Strategies for Qualitative Research*; Aldine Publishing Co.: New York, USA, 1967.
- Hanson, D. y Wolfskill, T., Improving the teaching/learning process in general chemistry, *J. Chem. Educ.*, **75**, 143-147, 1998.
- Hutchinson, J., Teaching introductory chemistry using concept development. Case studies: interactive and inductive learning, *Univ. Chem. Educ.*, **4**, 3-9, 2000.
- Ikuenobe, P., Questioning as an epistemic process of critical thinking, *Educational Philosophy and Theory*, **33**(4), 325-341, 2001.
- Johnson, C., Whole-school collaborative sustained professional development and science teacher change: signs of progress, *J. Science Teacher Educ.*, **18**, 629-661, 2007.
- Mortimer, E. *Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino das Ciências*, edit. UFMG, Belo Horizonte, 2000.
- Pedrosa de Jesus, H., Teixeira Dias, J. y Watts, M., Questions of chemistry, *Int. J. Science Educ.*, **25**(8), 1015-1034, 2003.
- Rogerson, B., Effectiveness of a daily class progress assessment technique in introductory chemistry, *J. Chem. Educ.*, **80**, 160-164, 2003.
- Seeman, J., Using "basic principles" to understand complex science: nicotine smoke chemistry and literature analogies, *J. Chem. Educ.*, **82**, 1577-1583, 2005
- Souza, F. N., *Perguntas na aprendizagem de Química no ensino superior*, Tese de doutoramento (CD ROM), Universidade de Aveiro, Portugal, 2006.
- Taber, K., Chemistry lessons for universities?: A review of constructivist ideas, *University Chemistry Education*, **4**(2), 63-72, 2000.
- Talanquer, V., Formación docente: ¿qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?, *Educ. quim.*, **15**(1), 52-58, 2004.