

¿Para qué se inventaron los problemas de química?

Mercè Izquierdo Aymerich¹

Resumen

En este artículo se reflexiona sobre la finalidad de los problemas que se plantean en los manuales de química y que se resuelven en la clase de problemas. Estos problemas son muy parecidos a los que aparecían en los libros de texto de finales del siglo XIX, a pesar de que ha transcurrido mucho tiempo, la química ha cambiado mucho y las finalidades de la enseñanza de la química también lo han hecho. Como consecuencia de la reflexión se hace una propuesta para nuevos problemas con nuevos contenidos y con nuevos formatos. Los contenidos han de ser auténticamente ‘problemáticos’ y adecuados al trabajo conjunto entre el estudiante y el docente de química, requisito para una enseñanza de calidad, y se han de aprovechar las posibilidades que ofrecen las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (NTIC).

Introducción

La pregunta que aparece como título de este artículo sugiere que una mirada hacia el pasado nos va a proporcionar ideas para mejorar las clases de química actuales y futuras, puesto que si no fuera así el artículo estaría fuera de lugar en una revista dedicada a la educación química.

Se ha escrito mucho, en los últimos años, sobre resolución de problemas ‘de papel y lápiz’; se ha diferenciado entre ‘problema y ejercicio, con una apuesta a favor de los primeros y una advertencia a no abusar de los segundos (Oñorbe, 2003, Pozo, 1994, Perales y otros, 2000). También se ha mostrado la importancia de los problemas cualitativos, a los que se estaba dando poca importancia, y se han priorizado los métodos de resolución heurísticos frente a los que requieren simplemente el uso de un algoritmo (Bodner, 1987). Pero, a pesar de todo ello,

no parecen haber cambiado mucho los problemas que aparecen en los exámenes de química, en las ‘olimpiadas’ y en los libros de texto; continúan estando centrados en la ejecución de cálculos a partir de fórmulas y ecuaciones químicas que muestran un mundo configurado de una manera muy alejada de la percepción, al cual es muy difícil acceder a partir de conocimientos y cuestiones que son útiles en la vida cotidiana y cuyas reglas de funcionamiento se acaban aprendiendo de memoria. Esta inercia afecta a todo el sistema educativo y quizás por ello la enseñanza comprensiva de la química no llega a desarrollarse satisfactoriamente en el nivel de educación primaria y el interés por la química va disminuyendo tanto en secundaria como en la Universidad: los estudiantes universitarios que están obligados a estudiar química como asignatura instrumental (en ciencias ambientales, en geología, en veterinaria), la rechazan y sus profesores lo pasan mal, si pretenden algo más que facilitarles un aprendizaje memorístico.

Sin embargo, no se necesitan ‘memoriones’ (ha pasado ya el tiempo de los conocimientos enciclopédicos), sino personas con criterio para aplicar los conocimientos y para discriminar entre lo que comprenden y lo que no comprenden, capaces de formular las preguntas oportunas que orienten hacia la búsqueda de la respuesta adecuada. Para alcanzar estas competencias, que son propias de la actividad científica, la resolución de problemas continúa siendo imprescindible, pero, a la vez, es urgente orientar esta actividad de la manera adecuada a los nuevos objetivos y preguntarnos la razón de las dificultades que han impedido que las innovaciones que se han ido proponiendo en la bibliografía didáctica no hayan calado tanto como sería deseable.

En este artículo se va a empezar por un breve repaso de la presencia de problemas en los manuales y libros de texto de ciencias. Veremos, en el apartado 2, que los problemas han evolucionado a medida que lo han hecho los libros, y que esta evolución ha sido debida al cambio de objetivos y contenidos y, sobre todo, a la estandarización de los niveles y títulos que se ha ido produciendo de manera simultánea. Como consecuencia de esta reflexión se intentará mostrar, en el apartado 3, que las nuevas finalidades de la

* Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias. Universitat Autònoma de Barcelona.

¹ Con la colaboración del Seminario ‘Resolver problemas para aprender (UAB) del que forman parte los profesores Anna Arís, Marià Baig, Mar Carrió, Digna Couso, José Antonio Chamizo, Pau Ferrer, Àngels González, Javier López, Joan Suades i Antoni Villaverde.

enseñanza universitaria que ahora se perfilan requieren vincular la resolución de problemas a la investigación, recuperando así el significado que les es propio.

¿Cómo desarrollar habilidades propias de la investigación, en una clase de química a la que asisten principiantes? ¿Cómo hacer que la actividad docente promueva ‘buenas preguntas’ en los estudiantes, que son aquéllas que van a ayudarlo a aprender? Esta reflexión se va a desarrollar en el apartado 4, a partir del concepto de ‘racionalidad moderada’ que emplea S Toulmin al analizar la resolución de problemas en la dinámica científica.

Finalmente, en el apartado 5 se van a aplicar estas ideas a la clase de química. Se van a poner ejemplos que muestren la evolución de los problemas y permitan plantear algunos ‘criterios de calidad’ de los nuevos problemas que se consideren adecuados al desarrollo de competencias de pensamiento científico. Podemos avanzar que estos criterios se relacionan con lo que hace que una pregunta sea ‘buena’ y que ellos han de evitar que los nuevos formatos virtuales consoliden en los años venideros los mismos ‘problemas de los problemas’ que ahora estamos intentando superar.

1. De los manuales a los libros de texto

La química se convirtió en una disciplina universitaria muy tarde, ya en el siglo XIX. Creo que en el siglo XXI está viviendo un proceso de cambio igualmente importante.

La Química de los Profesores

En el siglo XIX se desarrolla lo que Bensaude-Vincent y Stengers (1993) llaman ‘la química de los profesores’, que transforma radicalmente la consideración social de lo que hasta entonces era una práctica apenas considerada científica. Se crean revistas y sociedades químicas de prestigio y reconocidas internacionalmente, se institucionalizan y regulan los estudios y la química se transforma en una profesión lucrativa y considerada.

A principio del siglo y recién acabadas las guerras napoleónicas, París era el centro cultural del mundo occidental y también de la enseñanza de la química. Las instituciones docentes se habían estructurado de manera sistemática y estudiantes de toda Europa y de América acudían allí a aprender química: un conocimiento nuevo que buscaba su propio estilo de explicación para unos cambios (los químicos) peculiares y que no sólo descubría los misterios

más recónditos de la materia y de su transformación sino que daba lugar a industrias en las que se ganaba dinero.

Las clases de los grandes profesores Gay Lussac (1778- 1850), Thénard (1777- 1857), Dumas (1800- 1884) en la primera mitad del siglo despertaban entusiasmo: asistía a ellas un público variopinto, los asistentes aplaudían si la clase les gustaba o pateaban si no era así. Ellos, como la mayoría de los profesores del XIX, trabajaban duramente. Daban muchas horas de clase, en diversos centros públicos y privados: École Polytechnique, Sorbona, Collège Royal de France, École de Medicine Escribían tratados generales que eran obras de madurez adecuadas a su prestigio, que ofrecían una visión de conjunto de la química y en los que el resultado de su investigación se presentaba de manera que pudiera ser leído de manera comprensiva por el público interesado en la química. Instalaban con gran esfuerzo laboratorios con dinero público o privado en los que investigaban, viajaban por Europa e intercambiaban estudiantes y ayudantes de cátedra que, llegado el momento, creaban nuevas cátedras y competían con nuevos proyectos de investigación. Y colaboraban también con las nuevas industrias químicas que iban surgiendo, que proporcionaban lugares de trabajo y generaban riqueza. El esfuerzo de estos químicos y los resultados que obtenían recibía un reconocimiento social inequívoco: Gay Lussac fue académico, par de Francia, diputado. Thenard fue también par de Francia, caballero de la Legión de Honor, académico, Dumas fue ministro en diversas ocasiones y secretario perpetuo de la Academia...

En 1820 se reformó el bachillerato y se introdujo un examen de química al que se presentaba un número creciente de estudiantes que aspiraban a continuar sus estudios como profesores, médicos, químicos, militares o ingenieros. En 1837 se reformó la enseñanza primaria y se reglamentó la formación de sus profesores titulados. A medida que aumentó la demanda de buenos químicos para las industrias y de profesores titulados, los estudios se institucionalizaron y se endurecieron, se establecieron exámenes de selección y oposiciones; aumentaron los cursos de química para preparar los exámenes y, con ello, los manuales y tratados evolucionaron hacia libros de texto que contenían las preguntas de los exámenes y cuyo contenido se adaptaba a los programas exigidos (García Belmar y Bertomeu, 2000). Apareció una nueva industria, la de los editores de libros de texto, progresivamente floreciente a medida que

éstos se hacían necesarios para superar los densos programas de los cursos y exámenes obligatorios, y que se traducían a diversas lenguas, normalizando así los conocimientos disciplinares químicos en todo el mundo; y un nuevo estilo literario, afirmativo y dogmático, que reflejaba un modelo docente transmisivo y memorístico (Izquierdo, 2000). Apareció, con todo ello, un nuevo colectivo de autores: éstos ya no eran los grandes profesores ‘senior’ que vertían su experiencia en libros que ofrecían un panorama amplio de los conocimientos existentes, sino profesores jóvenes, apenas consolidados en sus plazas docentes, que escribían en el mínimo espacio y de la manera más convincente posible lo que los estudiantes tenían que saber en los exámenes, que era lo que se explicaba en las clases. *Los conocimientos experimentales, que no estaban al alcance de todos, eran sin embargo el fundamento y justificación de las definiciones que ‘se tenían que saber’ y por ello estaban expuestos sobre el papel de manera aporética*, mostrando instrumentos y procesos que presentan un ‘mundo’ hecho de elementos combinados en proporciones constantes que constituyen nuevas ‘substancias’ que ya no son ‘naturales’ sino que se sintetizan en los laboratorios, que se analizan con precisión creciente y que reaccionan entre sí a través de rutas que permitirán clasificarlas en familia... cuando lleguen a identificarse sus moléculas.

El ‘problema’ que los textos no podían ocultar eran las fórmulas. Ya en la segunda mitad del siglo, si bien la ‘teoría atómica química’, basada en las leyes estequiométricas cuantitativas y en las diversas ‘reglas’ establecidas por Berzelius, permitía expresar la composición de las sustancias mediante fórmulas, encontraba grandes dificultades para obtener una tabla de masas atómicas aceptada por todos los químicos y para hallar una única fórmula para cada una de las sustancias orgánicas que se sintetizaban en cantidad creciente. Los criterios exclusivamente químicos no permitían ni identificar la pieza química de las sustancias, el átomo, ni la pieza ‘física’ que interviene en los cambios químicos, la molécula o su versión escrita, la fórmula. Esta identificación fue posible gracias acercamiento progresivo entre la física y la química y, en consecuencia, nació una nueva especialidad, la química-física. Los cálculos matemáticos basados en nuevas variables y leyes fueron haciéndose cada vez más necesarios pero, a la vez, desagradaban a los estudiantes que lo que querían era ser químicos y no matemáticos.

S. Cannizzaro se lamenta de este rechazo y, en el prólogo de su libro ‘Sunto di un corso di filosofia

chimica’ (1858) se esfuerza en mostrar la importancia de los cálculos a sus alumnos, puesto que son ellos los que permiten establecer, con consenso, una única lista de masas atómicas que tendrá dos inmediatas consecuencias: la ‘teoría de valencia’ y la tabla periódica de los elementos. Así como Cannizzaro, en su texto, utilizó diversas leyes, tanto físicas como químicas, que permitían calcular (e identificar, con ello) la ‘masa atómica’, única, para los elementos y la masa molecular, única también, para las moléculas, Mendelejeff (impresionado por la exposición que Cannizzaro hizo de su método docente en el congreso internacional en Karlsruhe, en 1860) hizo de los átomos y de las moléculas la base para una pedagogía sistemática de la instrucción química en el último tercio del siglo (Nye, 2000). Y esta opción se ha mantenido, a través de los avatares del siglo XX (que han transformado la mecánica para que el átomo ‘físico’ fuera posible) hasta la actualidad, momento en el cual probablemente se han de volver a plantear las relaciones entre la física y la química en relación a los átomos.

Voy a detenerme en este punto por su importancia en relación a los problemas cuantitativos. Los manuales y tratados generales habían desplegado ante el lector el panorama de los nuevos ‘cuerpos’ químicos que se obtenían y analizaban, de las vías de ‘síntesis’ y de aplicaciones de estos nuevos cuerpos, de los procedimientos que permitían este manejo de las sustancias, pero aún no contenían problemas, sino sólo ejemplos de aplicación de los cálculos estequiométricos que se utilizaban, guiados por criterios experimentales químicos. Pero los libros de texto, enfocados hacia la superación de los exámenes, transmitieron cada vez más la idea que ‘ser químico’ era ‘saber calcular’ e incluyeron progresivamente ‘problemas’ en los cuales se tenían que utilizar las leyes estequiométricas para calcular masas atómicas y moleculares que permitían escribir ecuaciones químicas, expresar los resultados de los análisis, las condiciones de presión y volumen de los gases, las concentraciones de las disoluciones... Estos problemas se fueron extendiendo a todas las otras áreas de la química física: termodinámica, cinética y, más adelante, a la estructura del átomo y el enlace. ‘Hacer Problemas’ se convirtió en una de las actividades propias de la enseñanza de la física y de la química, más aún que las prácticas de laboratorio (las cuales, al requerir mayor infraestructura y dedicación, eran casi testimoniales en algunos centros). Se generó un contenido científico específico para la

docencia: los ‘problemas de química’, con sus propios patrones literarios, temáticos, criterios de calidad (¿cuánto más difíciles, mejor?) e incluso profesores específicos, más jóvenes y menos consolidados que los profesores de ‘teoría’. ‘Saber hacer problemas’ de papel y lápiz llegó a ser la habilidad que permite ‘competiciones’, desde exámenes y reválidas hasta olimpiadas científicas y apareció la clase de problemas y los libros de problemas, en los cuales éstos *ya se presentan de manera aporreada, como ocurrió con las prácticas experimentales en los primeros libros de texto.*

Evolución de los problemas en los libros de texto

Desde su aparición, los problemas de química fueron muy parecidos a los que aparecen aún en los libros de texto actuales. Probablemente se mantienen vigentes porque no ha cambiado la manera de concebir el examen de química: se continúa pensando que para demostrar que se sabe química se ha de saber resolver un problema de lápiz y papel, tanto en la enseñanza universitaria como en el bachillerato.

Veamos, como ejemplo, algunos libros que han sido muy utilizados en España. El primero de ellos es el libro ‘Compendio de las lecciones de química general explicadas en la Universidad de Barcelona, por el Dr. J.R. Luanco (1878). Los problemas aparecen al final de la lección, algunas veces resueltos y otras sólo con el resultado. Por ejemplo:

PROBLEMA. *Hay una mezcla de cloruro potásico y sódico que pesa 2.081 g y se sabe por su análisis que el peso de cloro de los dos análisis es 1.1387 g. ¿Cuánto cloruro potásico y cloruro sódico hay en la mezcla?*

La separación entre la ‘teoría’, las prácticas y los problemas es muy evidente en los libros del padre Victoria con los que se formaron muchas generaciones de químicos españoles entre los años veinte y treinta del siglo XX. En ellos ya se han eliminado los problemas y las prácticas, que aparecen en fascículos aparte que se han de ir utilizando en paralelo a las clases teóricas. Es evidente, que con ello, unas y otros van perdiendo su carácter de investigación y se refuerza la importancia de la teoría como descripción dogmática del mundo.

Un libro de texto muy utilizado en la década los cincuenta en España, ‘Química’ de Babor e Ibarz, muestra una cierta ambigüedad en el uso del término ‘ejercicio’ y ‘problema’: llama ejercicios a preguntas

que ayudan a comprender el contenido de las lecciones y que no requieren cálculos, mientras que llama problemas a enunciados sin preguntas, sólo con verbos en imperativo que indican cuál es el cálculo que han de realizar los estudiantes una consigna para lo que han de hacer los estudiantes y, si es el caso, la regla que han de utilizar para hacerlo. En la lección se dan ejemplos de problemas resueltos y al final de la lección aparece una lista de problemas que han de resolver los estudiantes para evaluar los conocimientos adquiridos. Por ejemplo:

Calcular el volumen de amoníaco gaseoso a 15 °C y 751 mm que se necesitan para neutralizar 25 g de una disolución de ácido sulfúrico del 5% en H₂SO₄. Calcular el calor de reacción: a) aplicando la regla de Thomson- Helmholtz; b) mediante la ecuación de Gibbs- Helmholtz

Esta confusión entre ejercicios y problemas se da en muchos otros textos. Por ejemplo en ‘Química razonada’ de Pimentel y Spratley (1978) se llaman ‘ejercicios’ a ejemplos de cálculo introducidos en la lección y ‘problemas’ a otros enunciados muy parecidos, aunque más largos y complejos, que aparecen al final de la lección y que han de ser resueltos por los estudiantes.

Veamos dos ejemplos más modernos, ‘Chemistry in Context’, y ‘Cutting edge chemistry’. El contraste entre ambos libros es muy representativo de la situación actual de la química universitaria y del cambio de paradigma que estamos viviendo (Izquierdo b, en prensa).

En el primero de ellos, ‘Chemistry in Context’, dirigido a un público de ‘no químicos’, se presentan tres tipos de actividades incluidas en la lección... Las llamadas ‘Your Turn’ son ejercicios numéricos, las llamadas ‘Consider this’ plantean preguntas abiertas, que no tienen una respuesta única y en las llamadas ‘The Sceptical Chymist’ los estudiantes han de argumentar si determinadas afirmaciones son plausibles, poniendo así a prueba su comprensión de la lección. Al final de la lección aparecen ‘Exercises’ iguales a los ‘problemas’ de papel y lápiz a los cuales nos estamos refiriendo. Vemos aquí claramente la supervivencia de los problemas numéricos (al final de la lección, situación estratégica que les da la última palabra) a pesar de que en todo el capítulo se anime a los estudiantes a razonar y a desarrollar competencias de pensamiento científico.

En el segundo libro, ‘Cutting edge chemistry’,

publicado en el año 2002 bajo los auspicios de la 'Royal Society of Chemistry' y dirigido a futuros químicos no hay problemas ni se proponen actividades que ayuden a razonar, sino sólo 'Questions' en los que, casi siempre sin interrogantes sino mediante verbos en imperativo, se solicita que el estudiante explique, calcule, indique, clasifique, dibuje... para, con ello, conectar sus conocimientos previos con los que le proporciona la lección o ampliar las informaciones; al final de la lección se encuentran las respuestas correctas a las 'questions'. El libro muestra hacia donde se dirige la química moderna pero lo hace de manera nuevamente afirmativa, transmisiva. Muestra 'lo que hacen las moléculas' mediante la interpretación del funcionamiento de instrumentos sofisticados y su enfoque es completamente diferente al que tenía el anterior.

Como conclusión

A lo largo de este largo período, los problemas numéricos se han mantenido, aunque hemos visto aparecer también ejercicios y cuestiones más abiertas. Un análisis más detallado nos mostraría que ha habido un intento de presentar el contenido de estos problemas de manera más contextualizada, pero en los exámenes continúan predominando los cálculos que fueron problemáticos en algún momento del remoto siglo XIX, cuando nació la química-física. Sin embargo, la resolución de problemas continúa siendo una actividad importante para aprender química, aunque necesita el cambio anunciado tanto por investigadores en didáctica de las ciencias como por profesores de ámbitos diversos que perciben el progresivo desinterés de los alumnos por la química y querrían superar esta situación.

2. Ya no hace falta saber hacer 'estos' problemas, porque se necesitan otras 'competencias'

La enseñanza se ha democratizado, y también lo ha hecho la universidad, que ahora acoge a un amplio sector de alumnos, con intereses muy diversos y formaciones desiguales, que proceden de una secundaria menos elitista que hace algunos años. Simultáneamente, la disciplina química ha evolucionado en sentido contrario: cada vez es más abstracta y requiere instrumentos de gran sofisticación, muy diferentes ya de los matraces y erlenmeyers tradicionales. Los estudiantes de química aprenden a interpretar un mundo hecho de fórmulas en lugar de fenómenos concretos que plantean problemas reales; se les for-

ma como si el destino de todos ellos fuera trabajar en la investigación de frontera, a sabiendas de que no se les va a poder ofrecer, a todos, este tipo de trabajo. Todo ello plantea dificultades de aprendizaje muy serias y desconcierta a muchos de los estudiantes, que acaban abandonando los estudios o alargando su permanencia en la universidad mucho más de lo razonable². Con todo ello, van disminuyendo las vocaciones científicas en todo el mundo.

Este desajuste entre niveles y finalidades de enseñanza se comprende mejor si se tiene en cuenta que a medida que ha ido siendo evidente que 'enseñanza' y 'aprendizaje' no siempre coinciden, han cambiado los criterios de calidad de la enseñanza y se ha dado mayor importancia al aprendizaje 'significativo', que es el que permite actuar. Este cambio correlaciona con las necesidades y características de la nueva sociedad de la información, en la que ya no se consideran necesarios los conocimientos enciclopédicos. Tampoco vale tanto como antes mostrar que se saben resolver complicados cálculos (de pH, de cinética, de equilibrio) que realizan con rapidez los diversos instrumentos que utilizan los químicos en la actualidad. *Lo que se requiere ahora es poder identificar cuáles son las entidades científicas que son relevantes en una determinada situación real y qué se debería hacer para identificar y para resolver el problema que esta situación plantea.*

Todos estos cambios modifican de manera radical la enseñanza de la química y deberían distanciarla de aquélla basada en los libros de texto orientados a aprobar exámenes en base a los problemas numéricos que hemos descrito en el apartado anterior. Este cambio ya es inevitable puesto que los gobiernos de todos los países están implantando nuevos estilos de evaluación 'por competencias', tanto en la enseñanza no universitaria como en la universitaria. Queda bien claro que la finalidad de la docencia, en la nueva 'sociedad de la información', no es que los alumnos sepan repetir, sobre el papel, lo que los profesores han dicho en clase o el contenido de un libro de texto, sino que sepan actuar y tomar decisiones justificadas frente a un fenómeno en el que pueden intervenir.

Las 'competencias científicas' alrededor de las cuales se estructuran los nuevos programas universi-

² La nueva finalidad política de 'ciencia para todos los ciudadanos' no ha dado lugar la revisión profunda de los contenidos de enseñanza que hubiera sido necesaria.

tarios han de ser establecidas pensando en todo lo que un licenciado ha de saber hacer para ejercer con éxito su profesión y en lo que se puede llegar a hacer a partir de lo que se enseña. Pero la universidad también ha de defender aquéllas que se consideran específicas del ‘pensamiento científico, químico’, que van vinculadas a la investigación y al incremento de conocimientos que se produce como consecuencia y ha de evitar un excesivo utilitarismo que daría por bueno sólo todo aquello que puede aplicarse de una manera inmediata y dejaría de lado los conocimientos generales y básicos, conceptuales.

Como que la investigación química requiere experimentar en el marco de modelos teóricos y mediante lenguajes especializados con los que se expresan los resultados interpretados, el camino a seguir queda claro: se han de ofrecer ocasiones para que el alumnado pueda actuar con autonomía frente a problemas reales que ha de resolver en el marco de sus propios modelos y lenguajes, procurando que a lo largo de este proceso sus conceptos evolucionen y sus lenguajes se enriquezcan. La resolución de problemas, en esta nueva situación, no es una competencia más entre otras, sino que puede llegar a ser el motor que impulse todos los aprendizajes significativos.

Los exámenes determinaron las características de los libros de texto y, en ellos, la presencia de problemas numéricos, en el siglo XIX. También ahora lo que acabará determinando cuáles son las competencias que se promuevan en la enseñanza de la química (secundaria y universitaria) será la evaluación. ¿Seremos capaces presentar a los estudiantes situaciones reales, en las cuales confluyan los conocimientos diversos que proporcionan las diferentes asignaturas de un semestre o de un curso escolar, y de evaluar su capacidad para formular las preguntas adecuadas y llegar a responderlas, con lenguajes significativos y, a la vez, científicos? (No vale decir que la resolución de un problema tradicional muestra que se es competente en resolver problemas, ni que responder un test muestra que se es competente en unos determinados contenidos que son los del test, porque esto es lo que se ha venido haciendo hasta ahora, desde que los libros de texto han sustituido a la disciplina, y esto es justamente lo que se quiere cambiar).

Los problemas de siempre ¿permiten desarrollar las competencias científicas que ahora se reclaman? Para responder a esta pregunta vamos a intentar una reflexión sobre la relación entre la trama

conceptual y la evolución de las profesiones. Veremos que no es suficiente ‘poner en contexto’ a los problemas de siempre; sino que se ha de ‘modelizar el contexto’, porque defender la evaluación por competencias no significa enseñar a hacer lo que hace ‘un profesional’ (un puro activismo que nos haría retroceder al tiempo de las artesanías, por muy sofisticadas que éstas pudieran llegar a ser) sino que se ha de conectar con la investigación que se enfrenta a aquello que aún no se sabe hacer; es decir, ‘modelizar el contexto’.

3. Paralelismo entre la evolución de la disciplina y la evolución de los conocimientos en las clases de química

‘El conocimiento científico avanza gracias a la resolución de problemas’, nos dice el filósofo L. Laudan (1986), basándose en la historia de la ciencias y esta afirmación la hacen suya, en general, los actuales científicos y profesores de ciencias que se interesan por los fundamentos epistemológicos de la función docente. S. Toulmin (1977), también filósofo, expresa la misma idea pero proporciona además pistas concretas para comprender cómo se produce este proceso, proporcionando el concepto de ‘racionalidad moderada’ que permite comprender muy bien que las razones prácticas influyen en la evolución de los conceptos científicos.

(op. cit. pag. 12) ‘Los hombres demuestran su racionalidad, no ordenando sus conceptos y creencias en rígidas estructuras formales, sino por su disposición a responder a situaciones nuevas con espíritu abierto... Las nociones fundamentales son las de ‘adaptación’ y ‘exigencia’, más que las de ‘forma’ y ‘validez’...

(op. cit. p.182) ‘En la ciencia, el significado se muestra por el carácter de un procedimiento explicativo; y la verdad, por el éxito de los hombres en hallar aplicaciones para este procedimiento’

Tomando como analogía la evolución de las especies de Darwin, Toulmin imagina el progreso científico de las disciplinas como un proceso orientado por ideales explicativos específicos, a lo largo del cual los conceptos compiten y sobreviven sólo aquellos que intervienen en las mejores explicaciones. Lo que impulsa la dinámica científica es la identificación de los problemas que han de ser resueltos y su resolución y estos problemas son aquéllos que surgen por las diferencias entre los ideales explicativos de una

disciplina y la experiencia acumulada de todos aquellos que trabajan en ella y que saben lo que se puede llegar a hacer y explicar con sus conocimientos profesionales y conocen las posibilidades de su repertorio de conceptos.

Problemas científicos = Ideales explicativos - Capacidades corrientes de los profesionales de la disciplina

Desde el punto de vista de la ‘racionalidad moderada’, la explicación no es una argumentación en la cual los conceptos se encadenan de manera lógica, sino una actividad real validada por los valores del momento y el uso racional de los conceptos toma sentido en el interior de esta actividad. (Según recuerda Toulmin, son los físicos los que ‘explican’, no ‘la Física’). Por ello, comprender bien los conceptos requiere comprender bien el contexto intelectual en el que se generaron y, en consecuencia, distinguir tres aspectos o elementos en el uso de estos conceptos:

1. El lenguaje,
2. Las técnicas de representación (exhibición de las relaciones generales entre objetos, sucesos y fenómenos naturales, no sólo formalismos matemáticos, sino gráficos, diagramas, árboles taxonómicos...)
3. Los procedimientos de aplicación de la ciencia.

Estos tres elementos confluyen en una buena explicación pero, como que *las disciplinas son empresas en evolución*, estos elementos cambian cuando los científicos se enfrentan a problemas que consideran cruciales.

Por lo tanto, la racionalidad científica ha de vincularse a la capacidad de cambio y no a la rigidez de lenguajes fósiles; y los procedimientos que hacen a la ciencia racional son justamente los que la salvan de fosilizarse, es decir, la resolución de los problemas ‘activos’ que se le plantean de manera imprevisible, cuando los profesionales *plantean buenas preguntas para la cual disponen de una línea promisorio de ataque*

Si bien las situaciones que plantean problemas son muy diversas, Toulmin considera que todas ellas pertenecen a una de las siguientes posibilidades:

- A. La extensión de nuestros procedimientos actuales a otros fenómenos (problemas que una ciencia puede razonablemente explicar, pero que ningún procedimiento disponible lo consigue).
- B. El mejoramiento de las explicaciones para abor-

dar fenómenos conocidos (la teoría cinética para explicar las leyes de los gases).

- C. La integración interdisciplinaria de las técnicas en una sola ciencia (relación de conceptos en el interior de una misma ciencia) Puede ser que un ámbito ‘tome posesión de otro (la óptica física de la óptica geométrica) o que discrimine fenómenos: unos se explican suponiendo la luz una onda y otros, una partícula.
- D. La integración interdisciplinaria de las técnicas de ciencias vecinas (relación de conceptos de ramas diferentes de la ciencia).
- E. La resolución de conflictos entre ideas científicas y extracientíficas (vida y muerte y transplante de órganos, neurociencias y libre arbitrio).

En todas estas situaciones se presentan al científico ‘hechos desconcertantes’ que requieren que los modelos teóricos, los procedimientos experimentales y el lenguaje de que se dispone sean modificados para aplicarlos de la manera necesaria para solucionar el problema. Así, estas cinco situaciones problemáticas pueden resolverse de estas tres maneras diferentes (refinando el lenguaje, las representaciones teóricas, la experimentación, dando lugar a 15 posibilidades de variaciones conceptuales que hacen posible la evolución del conocimiento científico) (Estany *et al.*, 1991).

La ciencia se enseña mediante un proceso de enculturación a través del cual los estudiantes han de aprender a explicar los fenómenos relevantes para la disciplina mediante los modelos científicos, pero, por lo que acabamos de ver, los estudiantes no han de considerar que los procedimientos explicativos son rituales invariables. *Por ello, deben enfrentarse a auténticos problemas, escogidos de tal manera que pueda resolverlos a la vez que evolucionan sus conceptos previos, su lenguajes y las experiencias que le proporcionan evidencias.*

El estudiante *competente* no ha de mostrar que es capaz de resolver problemas que ya le vienen formulados en términos disciplinares, sino que ha de ser capaz de identificarlos en las situaciones reales, que puede modelizar para que tomen sentido real las magnitudes y procedimientos explicativos que debe aprender según el programa de formación previsto. Si, al contrario, sólo aprende la manera de resolver problemas que le vienen dados mediante las palabras y ecuaciones apropiados puede quedar atrapado en su superestructura lingüística sin llegar a comprender que ésta llegará a ser superada por las circunstancias en algún momento más o menos lejano.

Reflexionando sobre lo que se ha ido diciendo

hasta aquí, vemos que los auténticos problemas científicos sólo surgen cuando una ciencia está viva, cuando es un campo de indagación y se enfrenta a situaciones nuevas³. Este enfoque obliga a replantear la enseñanza universitaria más a fondo de lo que puede parecer. Si, según Toulmin, ‘*adherirse irreversiblemente a un sistema particular de conceptos y teoremas es la antítesis de un procedimiento racional y una negación de sus propios objetivos intelectuales (op. cit., 198)*’ porque ‘*las personas (como científicos racionales) muestran su racionalidad en su disposición a abandonar el sueño de un solo sistema universal de pensamiento que posea una autoridad exclusiva y a revisar cualquiera de sus conceptos a medida que se amplía y profundiza progresivamente su experiencia del mundo*’ (op.cit. 199) ¿no será que es imposible presentar problemas auténticos en clase, dónde todo lo que se ha de aprender ya es ‘fósil’, pero, a pesar de ello, es el punto de partida para la innovación?

Este dilema es muy propio de la docencia y por ello las clases necesitan una fundamentación epistemológica específica (Izquierdo y Adúriz, 2003): no se pueden enfrentar directamente los problemas auténticos de una disciplina si no se conocen sus tradiciones y sus lenguajes que ahora han quedado consolidados en ‘explicaciones definitivas’ pero destinadas a cambiar. En consecuencia, no es fácil preparar problemas que tengan la misma función, en la docencia, que la que tienen en la investigación (impulsar los cambios conceptuales) y que contribuyan a que el estudiante perciba que la ciencia está viva y que evoluciona, de la misma manera que lo van a hacer sus propios conocimientos al ir adquiriendo una capacidad explicativa y ‘problematizadora’ cada vez mayor

4. El proceso de enseñar y aprender problema . Problemas, buenas preguntas y ejercicios

Hemos visto en el apartado 2 que los ‘ejercicios, en los libros de texto, pretenden conectar los conoci-

mientos del lector atento con las aportaciones que se supone le está haciendo el texto. Los problemas, en cambio, pueden no tener preguntas y sólo ‘mandar’ al alumno que proporcione determinados datos a su profesor, dando por supuesto que es muy importante que el estudiante sepa realizar los cálculos que se requieren para ello. En cambio, cuando la investigación didáctica establece una diferencia entre ejercicio y problema, llama ejercicio a muchos de los problemas de los libros y problema a algunos de sus ejercicios; y detecta un exceso de ejercicios y una falta de problemas auténticos que considera inadecuada para una docencia de calidad. Conviene pues aclarar el significado de estas actividades, y lo haremos partiendo de nuestro análisis tanto de las clases de problemas de química (Arís, en prensa) como de los libros de texto (Izquierdo, 2000, en prensa).

El ‘problema para aprender’ (sinónimo, para nosotros, de ‘problema auténtico’) ha de proporcionar al estudiante una situación similar a la ‘investigación científica’, puesto que en ambos casos se pasa de ‘no saber’ a ‘saber’. Las 15 posibilidades de variación conceptual con las que Toulmin resume la dinámica científica pueden aplicarse también a la dinámica del conocimiento de los estudiantes. Ahora bien, un buen problema permite aprender *al ser resuelto*, puesto que así se modifican y avanzan los conocimientos de quien lo resuelve; así, los ‘problemas para aprender’ han de poder ser resueltos de la manera más autónoma posible. Sin embargo (¡estamos en un proceso de enculturación!) hay determinadas vías de solución que deben aprenderse porque forman parte del concepto y de los conocimientos profesionales que se han de llegar a conocer; y pueden enseñarse haciendo que el proceso de resolución sea abierto y creativo, de manera que los alumnos puedan sorprender al profesor al avanzar por un camino insospechado. Polya (1945) llama ‘heurístico’ a este tipo de procesos de resolución, y lo resume de la manera siguiente:

- leer el enunciado y comprender la pregunta que se plantea;
- concebir un plan para responder la pregunta (identificar el marco teórico,
- formular hipótesis y descartar las que no correspondan,
- elaborar estrategias para obtener la respuesta adecuada: dividir el problema en subproblemas y identificar submetas, recordar problema análogos que ya se saben resolver, relacionar el tema con otros...);

³ Toulmin no llega a afirmar que la física newtoniana ya no es una ciencia viva pero insinúa que se ha convertido en una rama de la matemática pura porque sus conceptos y proposiciones ya no se discuten ni se contrastan con descubrimientos empíricos y las tareas intelectuales de la disciplina son sólo tareas matemáticas de reordenar sus teoremas (ya no sus teorías) de la manera más compacta, elegante y vigorosa posible. Por lo tanto, no es apropiado llamarla ‘mecánica racional’ porque, según el significado de racionalidad vinculado a la resolución de problemas reales (sin confundirla con lógica), no lo es.

Cuadro 1.**Finalidad docente**

¿Cuál es el concepto clave y qué relación tiene con las competencias a las que se refiere el programa del curso / de la asignatura?
 ¿Cuál es la función docente del problema específico que se plantea?
 ¿Qué conocimientos previos se necesitan?

Contenido específico en el enunciado del problema

¿Cómo es el problema (abierto o cerrado, cualitativo o cuantitativo, práctico o de papel y lápiz, test o narrativo)?
 El problema ¿es relevante y está redactado de manera clara, de manera que los estudiantes lo entiendan?
 ¿Se formula una 'buena pregunta', que oriente hacia la solución?

Estrategias de resolución y aprendizajes que se esperan

¿Qué tipo de respuesta deberían dar los estudiantes?
 ¿Cómo se resolverá el problema? ¿Qué estrategias de resolución se tendrán que enseñar (mejorando la representación teórica, generando un nuevo lenguaje, dando sentido a las técnicas experimentales)?
 ¿Qué instrumentos didácticos se van a utilizar para potenciar los procesos de metacognición? (Bases de orientación, diagramas, V de Gowin)

- ejecutar el plan previsto;
- verificar el resultado.

Para nosotros, este proceso es similar al proceso de modelización científica que se produce en la investigación científica. (Izquierdo y Adúriz, 2003, Arís *et al.*, en prensa) que se desarrolla como muestra la figura 1 (Giere, 1988).

Mediante este proceso, los estudiantes se enfrentan a unas determinadas situaciones reales, problemáticas, que se les presentan de la manera más adecuada para que puedan 'vivirlas' y las resuelven gracias al uso inteligente de las entidades científicas que se introducen en clase, las cuales adquieren, de esta manera su propio significado a la vez conceptual y práctico. El proceso requiere plantear hipótesis que, una vez contrastadas, proporcionan evidencias según las reglas del juego de la disciplina y ha de ser guiado por 'buenas preguntas' que formen parte del

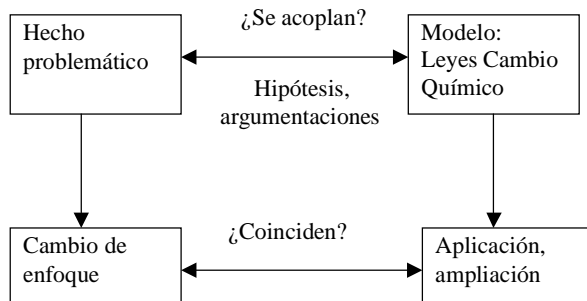


Figura 1. Proceso de modelización científica, Giere, 1988.

enunciado del problema o que sean proporcionadas por el profesorado que conduce la actividad.

Como que 'ser competente' es sinónimo de 'ser autónomo' se han de facilitar al estudiante instrumentos que le ayuden a reflexionar sobre su proceso de aprendizaje al resolver los problemas, a la vez que, a modo de andamiaje, le ayudan a construir la trama de conceptos y experiencia que le va a permitir resolver el problema. (Jorba y Sanmartí, 1996). Proponemos, como ejemplo, la V de Gowin, (de Lama y otros, 1995), la cual puede adaptarse de manera más adecuada a la resolución de problemas como puede verse en la figura 2. En ambos diagramas la 'buena pregunta' tiene un lugar primordial.

¿Qué son las 'buenas preguntas'? Según Eitgeest, 1985, son preguntas que generan actividad (física, mental o comunicativa) y que, por ello, contribuyen al aprendizaje, y que pueden ser formuladas por los propios estudiantes (rehaciendo, con sus propias palabras las consignas que se les dan en el enunciado de los problemas) o por sus profesores (en documentos escritos o en sesiones de tutoría). A diferencia de la mayoría de los ejercicios que aparecen en los libros de texto, no pretenden que los alumnos recuerden o revisen lo que se les ha enseñado, sino dirigir el pensamiento del estudiante de la manera adecuada para la construcción de su propio conocimiento: enfocan la atención, incitan a comparar, a medir, a relacionar y a razonar de manera consciente sin bloquear al estudiante que está aprendiendo (por ejemplo, es mejor preguntar ¿por qué piensas que...? que preguntar simplemente ¿por qué...?)

Las buenas preguntas desarrollan los conocimientos que Vygotsky (1985) identificó como 'de desarrollo potencial', es decir, aquéllos que los estudiantes pueden utilizar para empezar a resolver el problema (mediante su 'modelo teórico' incipiente) y que, gracias a las buenas preguntas y a las explicaciones del profesor y de la bibliografía adecuada, pueden evolucionar hasta alcanzar la meta final, es decir, la resolución del problema y el nuevo 'modelo', enriquecido con nuevas entidades científicas, nuevos lenguajes y 'nuevas reglas del juego' (es decir, nuevos criterios sobre qué se debe o qué no se debe hacer).

Si el problema ya se sabe resolver deja de ser 'problemático', se transforma en una rutina y pasa a ser simplemente un 'ejercicio'. (Bodner, 2002) (Gil *et al.*, 1983). La resolución de ejercicios no es garantía de aprendizaje significativo ni de comprensión conceptual (Smith *et al.*, 1995); a menudo se consigue aplicando un algoritmo (una fórmula, un proceso alge-

braico, una frase, una técnica que simplifica el problema) sin comprender su fundamento. Sin embargo, esto no significa que los ejercicios no tengan también una función en un proceso de enseñanza y aprendizaje de la química orientado hacia la adquisición de competencias de pensamiento científico.

Recapitulando lo que se ha expuesto en este apartado, se puede proponer la secuencia siguiente para que la actividad de ‘resolver problemas’ favorezca el desarrollo del pensamiento de los estudiantes y la interacción entre estudiantes y profesores que ha de proporcionar lo que los libros no pueden transmitir: los criterios para interpretar fenómenos concretos y para intervenir en ellos.

1. Se planea una *situación problemática* (abierta, cualitativa, relevante desde el punto de vista químico, apropiada para la asignatura en la cual se trabaje pero con posibilidades de conectar con otras).
2. Se intenta solucionar el problema mediante un proceso de ‘modelización’ orientado por *buenas preguntas* (se introducen entidades).
3. Se identifican sus aspectos cuantitativos (las reglas del juego que permiten intervenir con instrumentos y cálculos e identificar las magnitudes relevantes y las relaciones entre ellas).
4. Se deduce una expresión algebraica o algoritmo que permite calcularlos.
5. Este algoritmo se aplica a otras situaciones parecidas, dando lugar a *Ejercicios*.

Resolver un problema numérico es ciertamente la culminación del proceso, pero no se puede aprender a hacerlo partiendo del punto 5 y limitándose a él. Es decir, quizás sí que se llegará a poder resolver ‘ejercicios’, pero esto no garantiza que se pueda resolver una situación problemática, que es lo que interesa en el momento actual. Sólo si el proceso se ha desarrollado en todas sus etapas, la resolución de ejercicios permite mecanizar procesos complejos y puede ser útil para consolidar los conocimientos adquiridos.

Todas estas reflexiones permiten identificar tres dimensiones que se han de controlar al proponer las ‘actividades problematizadas’ que deberían sustituir a la tradicional clase de problemas. Son: su finalidad docente, el contenido científico de su enunciado, el procedimiento de resolución que se va a seguir. Estas tres dimensiones, que se pueden relacionar con los tres elementos que interaccionan en un sistema didáctico (profesor, que diseña la docencia; disciplina,

Enunciado y pregunta	
Información que se proporciona ¿Qué se dice? ¿Qué se pide? ¿Qué se sabe? ¿Qué se necesita? ¿Qué podemos llegar a saber?	Planificación Cálculos
Respuesta argumentada	

Figura 2. ¿cómo enfocar la resolución de un problema? ‘Una carta de estudio’.

que proporciona el contenido de las actividades; estudiante, que aprende al resolver los problemas), son las que van a configurar una propuesta docente para producir una de las ‘variaciones conceptuales’ previstas en el programa. Y podemos aceptar como guía para atender a la diversificación conceptual que esperamos que ésta sea una de las 15 que propone Toulmin.

Para consolidar este planteamiento podemos utilizar la pauta que se presenta en el cuadro 1 (Aris *et al.*, en prensa), que aplicaremos a continuación a algunos problemas seleccionados en textos actuales.

No se puede ir mucho más allá sin entrar en contenidos y ejemplos específicos de intervenciones docentes que se han de diseñar teniendo en cuenta la necesidad de introducir a los estudiantes en una auténtica actividad científica⁴.

5. ¿Qué vamos a hacer ahora? Algunos ejemplos

Los problemas se inventaron para superar exámenes en los cuales ‘saber química’ se identificaba a saber calcular y se transformaron en una actividad muy propia de las clases de química con la que se introduce el aparato matemático que corresponde a la dimensión operacional y cuantitativa de los conceptos. No se ha de prescindir de esta actividad ya consolidada; continúa siendo importante que los alumnos sepan calcular, pero *siempre y cuando sean capaces de identificar, en problemas reales, qué es lo que han de calcular y qué van a hacer con los resultados*. Evaluar a los estudiantes por ‘competencias’, dando prioridad a las que tienen que ver con el pensamiento científico, sitúa a los problemas en un lugar privilegiado pero los problemas se han de volver a inventar, porque ahora toda la docencia debería articularse a su alrededor, sin diferenciar entre teoría, problemas y prácticas. En este nuevo panorama adquieren pleno sentido los argumentos de muchos profesores a

favor de más problemas y menos ejercicios, del abordaje heurístico frente al algorítmico y de los problemas cualitativos y abiertos (Furió y otros, 1995, Nakleh y otros, 1993) sin que esto signifique dejar de valorar el trabajo de los innumerables profesores (y de nosotros mismos) que, a lo largo de todos estos años, han (hemos) redactado enunciados de problemas, inventando situaciones químicas que podían presentarse a los alumnos en unas pocas líneas.

A partir del análisis que hemos propuesto se pueden identificar los aspectos de estos problemas que se han transformado en rutinas y que deberían recuperar su carácter de *problema*. Vamos a presentar dos ejemplos, uno de ellos de transformación del enunciado de un problema de estequiometría (Aris y otros, en prensa) y el otro, de análisis del proceso de resolución de un problema de equilibrio que muestra que los estudiantes no utilizan ningún marco teórico para dar el resultado correcto del problema.

Análisis y transformación de un enunciado sobre estequiometría

Los problemas de estequiometría fueron los primeros que aparecieron en los manuales de química del siglo XIX, puesto que en aquel momento el concepto de ‘átomo químico’ era problemático y sólo los cálculos estequiométricos permitían intuir su significado. Ahora la situación es otra; la teoría atómica está plenamente consolidada aunque el átomo que se presenta a los estudiantes es un átomo físico que encaja mal en las problemáticas que presentan los cambios químicos reales. Diversos autores (Furió y otros, 1999; Staver y otros, 1995) han puesto en evidencia que el concepto de mol se introduce de manera inadecuada al presentarse como un ‘número de cosas’ porque, aunque estas cosas sean átomos, queda desconectado de la magnitud de la cual es unidad, la ‘cantidad de sustancia’. Así, los problemas de estequiometría, que continúan ocupando un lugar privilegiado en los manuales y colecciones de problemas actuales, podrían continuar siendo ‘problemáticos’ si contribuyeran a comprender bien el significado de esta magnitud.

Veamos el ejemplo siguiente:

⁴ Diseñar la clase, especialmente en los primeros años de estudios universitarios, es más complejo de lo que puede parecer y requiere formación específica que proporcione criterios para innovar la docencia.

Una muestra de 1,036g de una sustancia orgánica (con un doble enlace) que sólo contiene carbono, hidrógeno y nitrógeno se quema y se forman 2,116 g de dióxido de carbono y 1,083 g de agua. Se sabe también que 0,1366g del compuesto fijan en su molécula todo el bromo que hay en 66,2 cm³ de agua de bromo (que contiene 3,83 g de bromo por cada litro de disolución). Si cada mol de compuesto fija un mol de bromo en su molécula, deducir::

1. La fórmula empírica
2. La fórmula molecular

Este problema tiene dos partes:

1. Los resultados del análisis elemental por combustión permiten encontrar la fórmula empírica (calculando n_{CO_2} y n_{H_2O} ; y, a continuación, n_C y n_H ; m_C y m_H en la muestra y, por diferencia entre la masa de carbono e hidrógeno y la masa de la muestra, se calcula m_N y, después, n_N ; finalmente, se encuentra la relación más sencilla, de números enteros, entre los moles de los tres elementos).

2. La cantidad de bromo absorbida por una muestra de masa conocida permite conocer la fórmula molecular... pero sólo por la condición que se impone *Si cada mol de compuesto fija un mol de bromo en su molécula...* la cual *simplifica excesivamente* el problema y lo reduce a un ejercicio de cálculo.

Para resolver este tipo de problemas, es frecuente utilizar el algoritmo llamado ‘unidad sin dimensiones’, que se aplica de manera mecánica, sin pensar. Esta manera de enfocar el problema impide comprender el significado del mol y de la magnitud cantidad de sustancia. Pero, además, la simplificación que se introduce al limitar las posibilidades relativas a la reacción con bromo esconde las dificultades reales a las que se enfrentan los químicos cuando obtienen los resultados del análisis elemental de una sustancia recién obtenida, es decir, la dimensión práctica del concepto de ‘molécula’.

Este enunciado, por lo tanto, no sería coherente con la finalidad de desarrollar competencias de pensamiento científico. Sin embargo, la situación experimental que se propone es relevante y los datos permiten una reflexión mucho más profunda, si se presenta de otra manera, más abierta y sin rehuir los problemas conceptuales reales. El siguiente enunciado, inspirado en el inicial, es algo más ‘problemático’:

Se ha obtenido y purificado una sustancia nueva y es necesario conocer su fórmula. La sustancia es un sólido blanco, de bajo punto de fusión, que decolora el agua de bromo. Al quemarla se forma dióxido de carbono, agua y nitrógeno. En el análisis elemental por combustión, una

muestra de 1,036 g forma 2,116 g de CO_2 y 1,083 g de H_2O . Además, se vio que 0,1366 g del compuesto fijan todo el bromo que hay en 66,2 cm^3 de agua de bromo (que contiene 3,83 g de bromo por cada litro de disolución. ($C=12$; $H=1$; $O=16$; $Br=81$))

Os pedimos que reflexionéis sobre las preguntas siguientes y que intentéis responderlas de manera justificada.

- ¿Cuál es la fórmula empírica de esta sustancia?
- Hay indicios de que esta sustancia esté formada por moléculas?
- ¿Cuál podría ser su fórmula molecular? ¿Se puede conocer con seguridad?
- Explicad por qué es tan importante conocer la fórmula molecular de las sustancias y por qué son tan limitadas las posibilidades de conseguirlo.

¿Cómo resuelven los estudiantes un problema de equilibrio de solubilidad?

El equilibrio químico es un estado especial de los sistemas que plantea muchas dificultades conceptuales a los estudiantes (debidos especialmente a la confusión entre las relaciones estequiométricas que muestra la ecuación química y las cantidades reales de las sustancias en el sistema en equilibrio), que no se resuelven enseñando ‘trucos’ para resolver los cálculos. En una investigación realizada por M. Sánchez (1996) sobre los problemas de química que los estudiantes resolvían en las pruebas oficiales de acceso a la universidad se puso en evidencia que los estudiantes resuelven bien los problemas de equilibrio para los cuales conocen algún algoritmo simplificador, pero en su proceso de resolución no utilizan ninguno de los conceptos específicos del equilibrio químico y, por lo tanto, no saben resolver las situaciones de equilibrio que no pueden simplificar. Las figuras 3 y 4 permiten comparar ‘lo que pensaban los estudiantes al resolver los problemas’ (figura 3) con los que los profesores suponen que piensan al hacerlo (figura 4).

En la figura 3 el enunciado del problema y la previsión de los profesores se representa mediante una ‘carta de estudio’ como la que se presentó en la figura 2.

En la figura 4 se representa el proceso de resolución según Ashmore *et al.* Los datos del enunciado se representan mediante un rombo, los que provienen de la memoria mediante un cuadrado y los que proceden del razonamiento mediante un círculo. La solución se representa mediante un doble círculo.

A: El sulfato de calcio es poco soluble

B: Se va a disolver en una solución de cloruro de

Enunciado y pregunta

La solubilidad del sulfato de calcio puede modificarse en una solución de cloruro de sodio o en una solución de sulfato de potasio.

Justificar en cuál de las dos se modificará.

¿Qué se dice?

El sulfato de calcio es poco soluble en agua pura. Se disuelve en una disolución de cloruro de sodio y en una disolución de sulfato de potasio que se supone que no están saturadas.

¿Qué se pide?

Si va a ser más o menos soluble que en agua en alguna de las dos

¿Qué se sabe y se ha de recordar?

Las ecuaciones que representan el proceso, la expresión de la Kps (que sólo cambia con la temperatura), la definición de ‘solubilidad’ y el principio de ‘Le Chatelier’ en función de Kps

¿Qué podemos llegar a saber?

Representarse las operaciones que se describen teniendo en cuenta que la solubilidad se refiere a una disolución saturada, en la que se cumple Kps

Planificación

Se ha de considerar que la disolución de sulfato de calcio es un sistema en equilibrio, caracterizados por una Kps. Se han de escribir las ecuaciones $\text{NaCl (aq)} \rightarrow \text{Na}^+ \text{(aq)} + \text{Cl}^- \text{(aq)}$
 $\text{K}_2\text{SO}_4 \text{(aq)} \rightarrow 2 \text{K}^+ \text{(aq)} + \text{SO}_4^{2-} \text{(aq)}$
 $\text{CaSO}_4 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} \text{(aq)} + \text{SO}_4^{2-} \text{(aq)}$
 $K_{ps} = [\text{Ca}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}]$

Cálculos/Resolución

No son necesarios cálculos. Se ha de tener en cuenta que la Kps no varía, pero que sí lo hace la concentración de ión sulfato en uno de los casos.

Respuesta argumentada

Por lo tanto, el sulfato de calcio es menos soluble en $\text{K}_2\text{SO}_4 \text{(aq)}$

Figura 3. La solución esperada en el caso de un problema de solubilidad.

sodio y en una de sulfato de potasio

C: Las sales disueltas están disociadas formando iones

D: Las disoluciones de cloruro de sodio y de sulfato de potasio no están saturadas

E: Hay un efecto de ion común

I: Los iones sulfato provienen de dos sales

Sa y Sb son las respuestas correctas a los dos apartados del problema.

Al comparar las dos figuras vemos que los estudiantes no utilizaron los conceptos específicos del equilibrio: la constante de equilibrio, la modificación de las concentraciones de las especies químicas en equilibrio, las interacciones entre iones, la relación entre la solubilidad y el equilibrio químico. Es decir, los estudiantes han interiorizado un ‘atajo’ que les ahorra tener que pensar en términos químicos; por lo tanto, aunque resuelvan bien el problema, no han aprendido nada sobre el equilibrio químico. Han perdido una ocasión de aplicar sus conocimientos de estequiometría a un sistema químico complejo, en el cual coexisten los reactivos y los productos.

Algunas reflexiones finales

¿Se pueden aprovechar estas ideas para diseñar mejor la enseñanza de la química basada en competen-

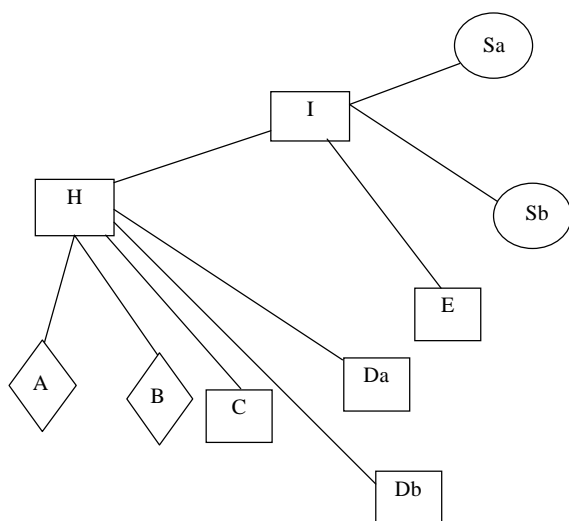


Figura 4. Conocimientos que manifiestan los estudiantes al resolver el problema mediante 'el ion común', según M. Sánchez.

cias de pensamiento científico? ¿Qué función tendría, en este nuevo diseño, la resolución de problemas? Por lo que se ha ido viendo, la respuesta no es sencilla.

Los problemas de química se inventaron para que los estudiantes se enfrentaran a situaciones difíciles porque aprender a resolverlas se consideraba indispensable para su formación. Ahora vemos que aquellos problemas *enseñaban a resolver situaciones que ya habían sido transformadas en ecuaciones algebraicas*, porque esto era lo realmente problemático en aquellos momentos y porque permitían examinar (y seleccionar) fácilmente a una élite de estudiantes. Pero han pasado más de ciento cincuenta años desde que se inventó la actividad de 'resolver problemas' y, aunque continúa vigente (y esto muestra que fue un buen invento), ésta empieza a necesitar una revisión.

Las nuevas finalidades de la enseñanza nos interpelan profunda y radicalmente. El reto es formar a nuestros alumnos como profesionales y científicos 'racionales', con criterio y disposición a cambiar; por ello hemos de darles la oportunidad de enfrentarse a dilemas auténticos, no sólo a dilemas de cálculo. La competencia que desarrollarán los estudiantes al resolver estos problemas 'auténticos' será *'ser capaz de darse cuenta de que hay un desajuste entre su ideal explicativo y su capacidad de explicar'* y planificar un proceso para ajustar el uno a la otra. Se trata, con ello, de impulsar una auténtica actividad científica en la que se impliquen estudiantes y profesores y que sustituya a las lecciones en las que el profesor habla y los estudiantes apuntan (Dods, 1996).

La industria de los libros de texto continúa

florecente, porque la enseñanza no sería posible sin ellos. Se han de atender a audiencias cada vez más diversas (no sólo a aquéllos que van a ser químicos) y por lo tanto los libros se han diversificado, aunque se continúan publicando libros muy parecidos a los del siglo XIX y colecciones de problemas que los estudiantes resuelven para prepararse a los exámenes. (Es más, en muchos casos los libros sólo se utilizan por los problemas y ejercicios que contienen). Pero la química ha cambiado tanto que dos libros como 'Chemistry in Context' y 'Cutting edge' parecen no tener nada en común, y ninguno de los dos se parece a los libros de texto habituales en las aulas de primaria y de secundaria. Ahora bien, todos ellos resultan difíciles de comprender, porque sus afirmaciones sólo tienen sentido en el marco de una actividad química que no se *vive* de manera suficiente.

Me parece interesante citar aquí los comentarios de Bensaude-Vincent (2000, p. 273). Se refiere a los protagonistas de una novela de Flaubert que quieren aprender química y deciden consultar libros de texto. Leen, en ellos cosas como que 'hay sustancias simples que pueden ser compuestos, que se dividen en metales y no metales, pero que esta distinción no es absoluta, como tampoco lo es la que se establece entre ácidos y bases' Y les humilla leer que su propio organismo está compuesto por los mismos elementos que una cerilla. Llegan a la conclusión de que el conocimiento químico es muy complejo y contradictorio y que la notación química es más bien críptica. Creo que los libros de texto de química producen ahora el mismo impacto sobre quienes no son químicos. En contraste con ello, en el libro 'Cutting Edge Chemistry' al cual ya nos hemos referido, se citan y justifican las siguientes palabras de Ronal Breslow, presidente en el momento de su publicación de la American Chemical Society. 'Chemistry is the central, useful and creative science' y esta afirmación la subscriben, probablemente, todos los profesores de química. Deberíamos preguntarnos muy seriamente por qué se da esta diferencia de opinión entre los que están 'dentro' de la actividad química y os que la ven desde fuera, para conceder más atención a las actividades docentes de 'iniciación a la actividad química' que muestren cómo miran el mundo los químicos para poder actuar como lo hacen.

Los profesores han de dar vida, inventando situaciones significativas, a los términos, conceptos y procedimientos que ya no son 'punta de lanza' pero que son necesarios para la cotidianeidad de la disci-

plina. Pero, además, han de hacer vivir a sus estudiantes las preocupaciones de los químicos de frontera. Es decir, las situaciones que han de recrear son diversas, y no son las mismas para la química de 'cocina' (la del mol) que para la química de los aparatos y de la mecánica cuántica (la de la nanotecnología). En este nuevo contexto, los problemas han de transformarse en una gama de actividades (que se plantean sobre el papel, pero que se pueden identificar en el mundo real) que invitan a pensar, con una diversidad de consignas: razonar, discutir, modelizar, calcular. La consigna que deberían transmitir a los estudiantes es que es tan importante aprender a explicar algo como a identificar aquello que no se puede o no se sabe explicar.

Sólo en el marco de este juego para el cual se requieren las competencias profesionales que se quieren implementar, adquieren los términos científicos su auténtico significado. Quizás avanzando pacientemente a través de diversas situaciones problemáticas y aprendiendo a resolverlas conseguiremos que la química sea comprensible para el gran público; sólo así la Química podrá ser considerada útil y creativa. ▀

Referencias

- Arís, A., et al. *Resoldre problemes per aprendre*. En prensa, UAB.
- Ashmore, AD., Frazer, M.J., Casey, R.J., 1979. Problem-solving and problem-solving networks in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 56, 377-379.
- Bensaude-Vincent, B., Stengers, I., 1993. *Histoire de la Chimie*. Paris: La Découverte.
- Bensaude-Vincent, B., 2000. From teaching to Writing: Lecture Notes and Textbooks at the Fench École Polytechnique. En *Communicating Chemistry*, Lundgren y Bensaude-Vincent, eds., pp. 273-295. USA: Science History Publications.
- Bodner, G. M., Herron, J. D., 2002. Problem-solving in Chemistry. En *Chemical Education - Towards Research-based Practice*, Gilbert et al. Eds., pp. 235-263, Dordrecht: Kluwer.
- Bodner, G. M., 1987. The role of algorithms in teaching problem solving. *Journal of Chemical Education*, 64, 513-4.
- Dods, R. F., 1996. A problem based learning design for teaching biochemistry. *Journal of Chemical Education*, 73, 225-228.
- Eitgeest, J., 1985, The right question at right time, en W. Harlen, (ed) *Primary Science: Taking the Plunge*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Estany, A, Izquierdo, M. 1991. 'Análisis de la evolución del concepto de afinidad química mediante el modelo Toulmin'. *Lhull*, 25, pp. 349-378.
- Furió, C., Iturbe, J., Reyes, J. V., 1995. ¿Cuánto contaminará una central térmica que funciona con fuel? *Alambique*, 5, pp. 27-36.
- Furió, C., Azcona, R., Guisasaola, J., 1999. Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), pp. 359-376.
- Giere, R. N., 1988. *Explaining Science*. Minneapolis University Press.
- Gil, D., Martínez Torregrosa, 1983. *Eur. J. Sci. Educ.*, 5 (4), 447-455.
- Izquierdo, M., 2000. Three rhetorical constructions of the chemistry of water. En *Communicating Chemistry* Lundgren y Bensaude-Vincent eds., pp. 255-272. USA: Science History Publications.
- Izquierdo, M., Adúriz, A., 2003. Epistemological Foundations of school science. *Science & Education*, 12, 27-43.
- Izquierdo, M. a. En prensa. Estructuras retóricas en los libros de ciencias. *Tarbiya*, ICE de la Universidad de Alcalá de Henares.
- Izquierdo, M, b. en prensa, Un nuevo enfoque de la enseñanza de la Química: contextualizar y modelizar. *Journal of Argentinean Chemical Society*, 92, 4/6.
- Jorba, J., Sanmartí, N., 1996. *La regulación de los aprendizajes*. Madrid: MEC.
- Lama, M. D., y otros, 1995. La selección y secuenciación de contenidos en Ciencias de la Naturaleza. La Uve de Gowin y la Teoría de la Elaboración: dos herramientas útiles para realizarlas. *Alambique*, 5, pp. 83-99.
- Laudan, L., 1986 (1977). *El progreso y sus problemas*. Madrid: Encuentro.
- Lunders, A, et al. ed., 2000. *Communicating Chemistry*. Science History Publications.
- Nakleh, M. B., Mitchell R. C., 1993. Concept learning versus problem solving there is a difference. *Journal of Chemical Education*, 70, 190-2.
- Nye, M. Jo, 2000. From Students to teacher: L. Pauling and the reformulation of the Principles of Chemistry in the 1930s. En *Communicating Chemistry*. Lundgren y Bensaude-Vincent, eds., pp. 397-414. USA: Science History Publications.
- Oñorbe, A., 2003. Resolución de problemas, en *Enseñar ciencias*, María Pilar Jiménez (coord.), pp. 73-93 Barcelona: Graó.
- Perales, J., 2000. *La resolución de problemas*. Madrid: Síntesis.
- Polya, G., 1946. *How to solve it: a new aspect of mathematical method*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Pozo, J. I., *La solución de problemas*. Madrid: Santillana.
- Sánchez, M., 1996. Resolución de problemas: El equilibrio químico. En: *Elaboración de instrumentos de evaluación diagnóstica de los conocimientos de Ciencias y de Matemáticas en los niveles no universitarios*. Izquierdo, M. Fortuny, J.M., editores, pp. 213-242. DDMC: Cerdanyola.
- Smith, C. A., Powell, S. C., Wood, E. J., 1995. Problem based learning and problem solving skills. *Biochemical Education*, 23, 149-152.
- Staver, J.R., Lumpe A.T., 1995. Two investigations of students' understanding of the mole concept and its use in problem-solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 177-193.
- Toulmin, S., 1977 (1972). *La comprensión humana. I. El uso colectivo de los conceptos*. Madrid: Alianza Universitaria.
- Vygotsky, L.S., 1985 (1934). *Pensamiento y lenguaje*. Buenos Aires: Argentina.

Libros citados

- Compendio de Lecciones de Química General*, J.R. Luanco (1878). Barcelona: Jepús.
- Química General*. Babor e Ibarz.
- Química razonada*. Pimentel y Spratley, 1978. Barcelona: Reverté.
- Chemistry in Context. Applying Chemistry to Society*. A project of the American Chemical Society 1994. Brown Publishers.
- Cutting Edge Chemistry*, 2000. Royal Chemistry Society.