

Una propuesta innovadora para una práctica tradicional: la elaboración de jabón como problema abierto

Pedro J. Sánchez Gómez

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación. Centro de Formación de Profesores. Universidad Complutense.

1. INTRODUCCIÓN

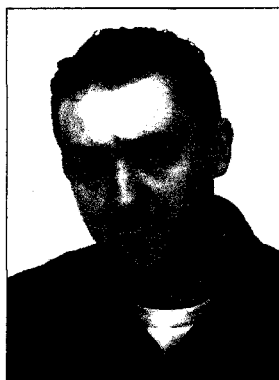
Si se realizase una encuesta entre profesionales de las diferentes áreas científicas o técnicas, creemos que habría un acuerdo unánime en la importancia que "las prácticas" deberían jugar en la formación universitaria en dichas áreas. Más aún, casi con total seguridad, una buena parte de estos profesionales, sea cual sea la actividad concreta dentro de las diferentes áreas científicas a la que se dediquen (comerciales, investigadores, docentes,...) coincidirían en que debería darse un peso mayor a la enseñanza práctica en los currículos universitarios. De igual manera, una de las quejas más comunes de los estudiantes de carreras científicas o de ingeniería es la escasez de trabajos prácticos que efectúan a lo largo de la carrera. A nuestro juicio, ningún otro aspecto curricular daría lugar a una postura tan unánime.

Este hecho se hace particularmente evidente en el caso de la carrera de C.C. Químicas. De todas las carreras científicas, no hay ninguna que haya hecho tradicionalmente un hincapié más grande en la enseñanza práctica. De una manera directa (aunque en muchos casos inconsciente) la calidad de la formación que se proporciona a los estudiantes de químicas se suele ligar directamente, y por encima de muchos otros

factores, a la calidad de los "laboratorios" que se imparten durante la carrera.

Y sin embargo, en muchos sentidos, la enseñanza práctica ha venido siendo "discriminada" en la enseñanza universitaria de la Química. Por un lado, las prácticas son, sin duda alguna, las partes del currículo que más deterioro han sufrido a causa de la masificación universitaria que se ha venido dando durante los últimos años. Es indudable que esto ha sido prácticamente inevitable: los laboratorios docentes no tienen la "flexibilidad" de las aulas teóricas para acoger a un número elevado de alumnos. A su vez, los presupuestos de docencia no han crecido en paralelo al número de alumnos. Como consecuencia, desde principios de los años ochenta se ha asistido a una reducción paulatina y constante del peso de las prácticas en el currículo, sobre todo en los primeros cursos de la carrera.

Por otro lado, es indudable que la enseñanza práctica ha tendido a ser considerada por el propio profesorado universitario como una actividad docente secundaria. Es muy común, por ejemplo, que la horas de docencia práctica se utilicen para completar los



compromisos anuales de dedicación de los profesores. A su vez, es frecuente en muchos centros la utilización de becarios de doctorado como profesor de prácticas, en una situación sangrante, tanto para los alumnos como para los mismos becarios (que no

suelen percibir ninguna remuneración por esta docencia, ni tampoco una formación específica para la misma).

Por último, la enseñanza práctica apenas ha entrado en el debate continuo sobre la calidad de la enseñanza en el que toda la comunidad universitaria se haya envuelta. Un ejemplo puede ayudar a ilustrar este punto: un profesor medio se preocupará por la calidad de sus clases teóricas, intentará recabar materiales o ideas nuevas para mejorarlas, y, por último, procurará realizar una evaluación eficiente y justa de los resultados. Sin embargo (y salvando, lógicamente, las "honrosas" excepciones), este profesor medio se enfrentará a la docencia práctica que le haya podido corresponder de una manera muy distinta: apenas intervendrá en el diseño y desarrollo de las diferentes prácticas; durante el desarrollo de las mismas, su intervención no pasará, por lo general,

de la presentación (breve) de las mismas, de supervisar de una manera superficial su realización, y en cuanto a su evaluación, se encontrará con un abanico de métodos posibles (cuaderno de laboratorio; examen, ya sea teórico o práctico; etc.), de los que escogerá uno por razones que en muchos casos se escaparán a su control, y calificará a sus alumnos de una manera que en el mejor de los casos, será poco eficaz (en el sentido de que apenas le aportará información fiable sobre el aprendizaje del grupo).

Queremos subrayar que no es que consideremos que este "profesor medio" sea un ejemplo de desidia, o de falta de dedicación. Damos por sentado que la mayoría de los docentes universitarios estamos genuinamente interesados en dar una enseñanza de calidad, incluyendo una buena evaluación de la misma. A nuestro juicio, lo que ocurre es que nuestro profesor medio se encuentra con una disciplina (las prácticas), en la que se reúnen diferentes aspectos que hacen que el papel del profesor sea especialmente difícil. Por un lado, en la enorme mayoría de los casos, el número de alumnos en un laboratorio didáctico es tal que es simplemente imposible para el profesor realizar un seguimiento de cada uno de ellos. Por otro, en muy pocas ocasiones puede el docente tomar decisiones efectivas sobre el diseño de la práctica o sobre su desarrollo: en la mayoría de los casos (especialmente en los primeros cursos de carrera) las prácticas se basan en un guión fijo e igual para todos los alumnos, que se debe realizar en un plazo prefijado (por lo general, una sesión de tres o cuatro horas). A su vez, en muchas ocasiones el profesor no realiza todas las prácticas con un mismo grupo, lo que le permitiría seguir la evolución de los alumnos, sino que suele impartir su docencia práctica en un periodo de tiempo inferior al de la duración del ciclo completo de prácticas para un grupo de alumnos. Por último, en pocos casos un profesor puede asumir la docencia práctica correspondiente a los grupos

que tenga asignados para la docencia teórica.

En cuanto a los alumnos, la situación tampoco es demasiado halagüeña. A pesar de que los laboratorios pueden suponer una variación estimulante con respecto al resto de las áreas del currículo, la realización de las prácticas suele ser mecánica y poco reflexiva. A nuestro juicio, las razones de este hecho deben buscarse más en el diseño de las diferentes prácticas, que, como indicábamos antes, suele resultar bastante poco motivante, así como en la masificación, que en una desidia intrínseca del alumno.

Nos encontramos, por lo tanto, ante una situación paradójica: por un lado hay un acuerdo general sobre la importancia del trabajo práctico en la formación de los químicos; por otro, la realidad de este trabajo puede parecer bastante descorazonadora. Para cambiar esta situación se requerirían toda una serie de acciones en la enseñanza universitaria de la química, acciones que irían desde cambios "estructurales" que permitieran solventar el problema de la masificación universitaria, hasta un aumento sustancial de la financiación de las facultades de Química, pasando por mejoras en la formación docente del profesorado, y cambios curriculares. Pero esperar estos cambios, al menos a medio plazo, sería poco realista.

Con todo, creemos que, con los medios disponibles, existe un margen de mejora en las prácticas universitarias de química. Esta mejora pasa por la realización de prácticas innovadoras, que consigan un mayor "rendimiento didáctico" de los recursos de un laboratorio docente universitario. En este artículo, presentamos una propuesta de trabajo práctico orientada en este sentido. Para desarrollar nuestra propuesta, introduciremos muy brevemente en la sección 2 algunos conceptos de la didáctica de las ciencias. En la sección 3 tratamos de los "problemas abiertos", una

metodología de enseñanza que nos parece especialmente adecuada para la didáctica práctica de la Química. Por último, en la sección 4 presentaremos nuestro diseño de trabajo práctico, basado en la elaboración de jabón.

2. ¿QUÉ SE ENSEÑA (Y QUE SE APRENDE) CON EL TRABAJO PRÁCTICO?

No es el objeto de este artículo exponer en profundidad las diferentes posturas que la investigación didáctica ha tomado (y aún toma) sobre el trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias (para una revisión excelente de los trabajos en este tema, remitimos a [1]). Sin embargo, es conveniente tocar, siquiera brevemente, algunos aspectos que son relevantes antes de analizar una propuesta concreta de docencia práctica.

Dentro de un esquema comúnmente aceptado, se suelen clasificar los diferentes contenidos a enseñar en una determinada actividad didáctica en tres grandes grupos: conceptos, procedimientos y actitudes. En la categoría "conceptos" se suelen englobar los contenidos más explícitamente teóricos (valga la redundancia, "conceptuales"); por "procedimientos", de una manera amplia, se entienden los contenidos de índole manipulativa, ya sean experimentales (p. ej. hacer una disolución) o teóricos (p. ej. ajustar una reacción redox); y, por último, se incluyen en la categoría "actitudes" a las tendencias estables de comportamiento que se consideran consustanciales a la disciplina a enseñar. Un posible ejemplo de actitud científica es el rigor en el tratamiento de datos experimentales; en el caso concreto de la Química, un ejemplo podría ser la limpieza y el cuidado del material de laboratorio.

No existe un acuerdo general en la investigación en didáctica de las ciencias sobre el papel que cada una de las categorías anteriores deberían jugar en el marco de la enseñanza práctica. Como ocurre con tantos otros

aspectos en didáctica, ha habido diferentes posiciones al respecto desde que el trabajo práctico comenzó a ser una parte fundamental de los currículos universitarios de ciencias, durante el último tercio del siglo XIX [2,3,4]. Centrándonos en los últimos treinta años, se ha pasado de la posición dominante durante los años sesenta, que consideraba que el trabajo práctico era muy importante (e incluso, esencial) para la adquisición de los fundamentos conceptuales de una disciplina científica (tal es la filosofía de proyectos de renovación pedagógica tan importantes como los norteamericanos *Chemical Education Material Study*, o los británicos cursos *Nuffield*), a la postura actual, escéptica con respecto a la enseñanza de contenidos conceptuales por medio del trabajo práctico [5,6]. Dentro de esta postura, la enseñanza práctica estaría más dirigida a la adquisición de procedimientos y actitudes, quedando la enseñanza conceptual relegada a un segundo plano.

La enseñanza práctica universitaria de la química, tal y como se imparte actualmente, sigue en gran medida esta tendencia actual de primar la enseñanza de contenidos procedimentales y actitudinales. A nuestro juicio, esta situación no se debe a una decisión explícita de los programadores universitarios guiados por la evidencia didáctica (evidencia que es muy ambigua, como ya hemos señalado), sino más bien a una "selección" implícita de los diferentes modelos de trabajo práctico, realizada a lo largo de los años, y en la que han intervenido tanto la percepción por parte de los profesores de las limitaciones de la enseñanza práctica, como las dificultades prácticas que suponen la masificación de las carreras de ciencias.

Aparte de esta preponderancia de la enseñanza de procedimientos y actitudes, otro rasgo distintivo importante en la enseñanza práctica universitaria es la estandarización. Nos referimos a que la enorme mayoría de las prácticas de laboratorio que se realizan en la carrera de C.C. Químicas

consiste en la realización de un "guión de prácticas" fijo. Más aún, en muchos casos la misma práctica es realizada simultáneamente por la totalidad de los alumnos del laboratorio. Esta "industrialización" del trabajo práctico tiene ventajas indudables, al permitir optimizar los escasos recursos disponibles. A su vez, no se debe ignorar que el hecho de que todos los alumnos (o un grupo de estos) realice simultáneamente la misma práctica permite la cooperación entre ellos, con las ventajas, tanto para el alumno como para el profesor que esto conlleva. Por otro lado, la principal desventaja de este sistema de prácticas es su falta de flexibilidad. En concreto, una actividad práctica diseñada de esta manera está necesariamente limitada a la enseñanza/aprendizaje de un número pequeño de contenidos sencillos. A nuestro juicio, y sin ignorar las ventajas que aporta, este modelo estandarizado consagra la reducción del trabajo práctico universitario, y en concreto en la carrera de C.C. Químicas, a un método de adquisición de destrezas de laboratorio básicas, y de unas actitudes elementales sobre el trabajo experimental.

3. LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO COMO PROBLEMAS ABIERTOS

Frente a esta opción de plantear las prácticas como actividades cerradas con un desarrollo fuertemente controlado, se ha propuesto, en el ámbito de la enseñanza secundaria, la posibilidad de plantear los trabajos prácticos como actividades abiertas, en la que el alumno tiene una cierta capacidad de decisión sobre el desarrollo de la práctica [7]. La idea básica de este enfoque está en considerar que toda actividad de trabajo práctico puede considerarse como un "problema", en el sentido que se da a este término en el contexto didáctico: una cuestión que se plantea al alumno, y a la que éste debe proponer una respuesta en función de los contenidos didácticos

que ha aprendido (o, al menos, que debería haber aprendido) durante su actividad didáctica. La resolución de problemas juega un papel central en la enseñanza/aprendizaje de todas las ciencias, y especialmente de la Química, aunque casi exclusivamente se centran en problemas teóricos "de lápiz y papel".

Se pueden distinguir dos tipos de problemas, ya sean teóricos o experimentales, según el grado de libertad que se da para su resolución: los problemas cerrados, en los que se pretende obtener una respuesta concreta a la cuestión contenida en el enunciado; y los problemas abiertos, en los que el enunciado es una cuestión que admite diferentes respuestas. Ejemplos de problemas cerrados son los clásicos problemas estequiométricos, o, la determinación de los iones presentes en una disolución. En cuanto a los problemas abiertos, un ejemplo sería la pregunta "¿Cómo determinarías la masa molecular de un compuesto?". Otro ejemplo posible en el campo experimental podría ser "Prepara un compuesto que sea insoluble en agua". Lógicamente, la separación entre problemas abiertos y cerrados es en algunos casos difusa: hay muchos problemas cerrados que admiten una gran libertad, si no en el resultado, si en el planteamiento y en la resolución. A su vez, la mayoría de los problemas abiertos pueden "cerrarse" en función de diferentes factores limitantes, como los conocimientos de los alumnos sobre el tema; los medios disponibles en un laboratorio; etc.

La mayor parte de las prácticas de laboratorio que se realizan durante la carrera de C.C. Químicas son problemas cerrados. Es indudable que esta metodología es particularmente eficaz para la enseñanza de las operaciones básicas del laboratorio, y en este sentido parece la más indicada para cursos introductorios. Por otro lado, los problemas cerrados presentan dos grandes dificultades: en primer lugar, su excesiva rigidez, que los limita a la enseñanza de contenidos no demasiado complejos; y en segundo

lugar, su distanciamiento de las situaciones "reales" de laboratorio con las que se enfrenta un químico en su actividad profesional, lo que supone una limitación radical a su potencial formativo en el contexto universitario.

Nuestra postura en este artículo es, por lo tanto, que no se debe prescindir de la utilización de prácticas cerradas en los primeros cursos de la carrera, orientando estas prácticas fundamentalmente a la adquisición de destrezas básicas esenciales. Sin embargo, consideramos que en cursos superiores, las prácticas pueden plantearse como problemas abiertos, con el fin de proporcionar una formación más completa a los futuros químicos.

4. UN EJEMPLO DE PRACTICA PLANTEADA COMO PROBLEMA ABIERTO: LA FABRICACIÓN DE JABÓN

Para plantear un ejemplo de actividad práctica abierta, hemos escogido un proceso químico particularmente conocido, empleado en innumerables ocasiones en la docencia práctica de la Química [6,7,8]: la fabricación de jabón. Nuestra idea es mostrar como incluso una actividad tan conocida gana en contenido didáctico cuando se plantea como un problema abierto.

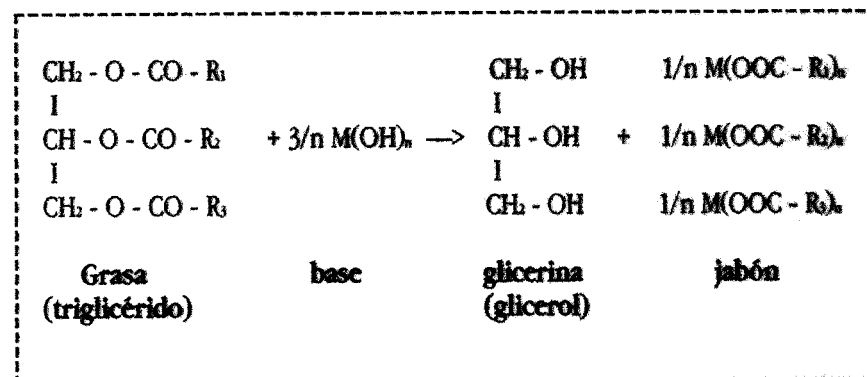
Como ya hemos indicado, la obtención de jabón es una actividad bien conocida para los profesores de química. Con todo, se trata de una práctica que se suele realizar eminentemente durante la enseñanza secundaria, e incluso, durante la enseñanza primaria (es una actividad muy común en las llamadas "granjas escuela"). Es indudable que en estos niveles educativos la fabricación de jabón tiene un gran atractivo: se trata de obtener, a partir de productos muy comunes, algo tan sumamente rutinario como es el jabón. Desde este punto de vista es una forma excelente de mostrar la importancia de la Química en la sociedad actual, con el consiguiente potencial de motivación que esto supone. Con todo, en la práctica

totalidad de estos casos, la práctica se realiza siguiendo un esquema totalmente cerrado, en concreto, se suele limitar a la aplicación de una "receta", por mucho que en los niveles superiores de la enseñanza secundaria se puedan introducir, al hilo de su realización, algunos aspectos de química orgánica, o de ácido-base.

A nuestro juicio, la elaboración de jabón puede ser la base de una práctica universitaria de gran calidad. Nuestro punto de partida es que esta actividad puede ser realizada experimentalmente de varias maneras, sin que este número de enfoques posibles sea, por otro lado, demasiado grande como para abrumar al alumno o para desbordar las capacidades de control del profesor. A su vez, es una práctica que no requiere en principio de la utilización ni de productos costosos ni de material de laboratorio sofisticado. En definitiva, presenta una serie de aspectos que la hacen especialmente adecuada para su realización como práctica abierta.

A su vez, el problema de la fabricación de jabón se puede abordar a diferentes niveles, desde uno muy básico, con unos objetivos muy limitados, y que requiera de poco más que unos conocimientos básicos por parte de los alumnos; hasta niveles mucho más avanzados, que supongan la utilización de técnicas y conocimientos teóricos avanzados.

Veamos más en concreto los fundamentos de nuestra propuesta didáctica. La reacción de saponificación requiere en principio solamente de una grasa y de una base. De hecho, esto es lo que se deduce de la ecuación química genérica para este tipo de reacciones:



$\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3$ son cadenas hidrocarbonadas de ácidos grasos, y M^n es un catión metálico.

A la vista de esta ecuación es inmediato establecer la estequiometría de la reacción, y, por lo tanto, las cantidades de los dos reactivos que deben ser empleadas. De acuerdo con esto, las variables que influirían en las propiedades del jabón resultante serían, únicamente, la grasa y la base empleadas. Una práctica que se basase en la reacción de saponificación en esta situación ideal estaría más cerca de un problema cerrado que de uno abierto.

Sin embargo, por desgracia (o, tal vez, por suerte), cualquiera que haya intentado fabricar jabón sabe muy bien que las cosas distan mucho de ser tan simples. Por nombrar sólo alguno de los problemas que aparecen, las grasas comerciales son mezclas de distintos triglicéridos, de manera que es difícil definir con total precisión la estequiometría de la reacción. Reacción que es, a su vez, bastante lenta en frío, y es muy difícil de forzar hasta la reacción completa de la grasa, lo que hace que el jabón resultante suele presentar un residuo de base, que lo hace poco agradable para su utilización. En definitiva, la situación real supone, de hecho, que la elaboración de jabón sea una actividad muy abierta. Nos basaremos en esto para plantear una práctica de fabricación de jabón concebida como un problema abierto. El enunciado de este problema podría ser "Estudia la elaboración de jabón a partir de diferentes grasas y bases"; o también "Propón un procedimiento de

fabricación de jabón en función de las diferentes grasas y bases que se pueden emplear".

La saponificación tal y como la exponíamos anteriormente, cubre un abanico muy amplio de posibles reacciones, resultantes de combinar todas las diferentes bases con todas las grasas posibles. Lógicamente, a la hora de realizar la práctica es necesario restringir de alguna manera las posibilidades a las que se enfrentan los alumnos. De hecho, una primera restricción nos viene dada por la necesidad de obtener un jabón soluble en agua, apto para su utilización como limpiador. Puesto que los únicos carboxilatos muy solubles en agua son los de sodio, potasio y amonio, esto limita las bases que se pueden emplear a las que estén formadas por estos cationes. En nuestro caso, utilizaremos sosa y potasa, y en cuanto a las grasas, aceite de girasol, aceite de oliva y manteca de cerdo. En definitiva, tenemos seis opciones experimentales posibles.

La forma de trabajar la práctica que nos parece más adecuada es dividir el grupo en parejas, a cada una de las cuales se le asigna una reacción de saponificación. Puesto que es muy probable que en el grupo haya más de doce alumnos, alguna de las reacciones (o todas) será realizada por más de una pareja. Conviene que estas parejas se dispongan próximas en el laboratorio, ocupando una misma mesa o una parte de una mesa. En el espacio ocupado dedicado a una de las reacciones debe disponerse los materiales y los reactivos necesarios para la misma. Antes de comenzar la primera sesión de la práctica, el profesor debe exponer brevemente sus fundamentos teóricos, así como unas indicaciones de seguridad, y de tratamiento de residuos. Este aspecto nos parece especialmente importante, aun cuando esta actividad es bastante segura (el único producto que reviste algún riesgo es la base que se emplea), y apenas da lugar a residuos (de nuevo, el único residuo que puede suponer algún problema son los restos de base que se pudieran generar). Con

todo, dada la importancia que tiene actualmente el tratamiento y reciclado de residuos, consideramos que toda actividad debe incluir un protocolo en el que se establezca el procedimiento de tratamiento, eliminación, y, en su caso, reciclado de los posibles residuos. En nuestro caso, se dispondrán recipientes grandes para los residuos de las distintas bases y grasas, y para los restos de jabón que se pudieran producir. Los residuos de las bases se valorarán al final de cada sesión para establecer su concentración, y se emplearán en las sesiones siguientes. Si con todo se juzgase necesario deshacerse de esta base sobrante, se procederá como es habitual: neutralizando con ácido clorhídrico diluido y eliminando por el desagüe. En cuanto a las grasas, pueden guardarse en botellas bien cerradas, para ser utilizadas más adelante. Por último, el jabón resultante de los primeros intentos de los alumnos puede acumularse en un vaso de precipitados grande, y puede emplearse como punto de partida de intentos posteriores. Hay que tener en cuenta que estos residuos de jabón contendrán con casi total seguridad un fuerte exceso de base, de manera que puede resultar conveniente neutralizarlos mediante un lavado con una disolución muy diluida de ácido clorhídrico (aproximadamente 10^{-5} M; la utilización de concentraciones mayores daría lugar a la descomposición del jabón por protonación de los carboxilatos, obteniéndose una mezcla de ácidos grasos, cloruro sódico, glicerina y agua, que eventualmente podría reaccionar para volver a dar triglicéridos). Si se quisiera eliminar estos residuos de jabón, el procedimiento sería neutralizar por lavado con ácido clorhídrico 10^{-5} M antes de arrojar a la basura.

La idea central de plantear una práctica como un problema abierto es permitir que los alumnos pongan en juego sus conocimientos anteriores para intentar cumplir los objetivos de la actividad, sin que se limiten a seguir un guión cerrado. En definitiva, se

trata de que el alumno tome decisiones sobre la forma de realización de la práctica. Un enfoque extremo en este sentido consistiría en dar al alumno completa libertad (dentro de los límites razonables de utilización del laboratorio) para obtener una respuesta al problema que se les plantea. A nuestro juicio esta postura deriva de una concepción del aprendizaje utópica, y puede dar lugar a que el alumno se pierda en cuestiones secundarias. Por lo tanto, se hace necesario adoptar alguna forma de guiar el trabajo de los alumnos sin eliminar el carácter abierto de la práctica. Nuestra propuesta concreta consiste en que el alumno, antes de comenzar la realización de la práctica, elabore un "proyecto" de la misma; un esquema en el que desarrolle brevemente el procedimiento que piensa seguir para la elaboración de jabón a partir de sus conocimientos y experiencias previos, y de la información suplementaria que el profesor haya aportado en una exposición previa a la realización de la práctica. Este proyecto será discutido con el profesor, que podrá sugerir modificaciones o mejoras de algunos aspectos. Con todo, es necesario respetar en lo posible un cierto grado de autonomía en la decisión del alumno. Entra en el ámbito de decisión del profesor hasta que punto debe interferir en el diseño que le propongan los alumnos. Nuestra recomendación es que en una primera sesión se de un amplio margen de decisión a los alumnos, con el fin de que se pongan en práctica las concepciones más espontáneas de los alumnos sobre la realización de la práctica. Es de esperar que este primer intento sea muy simple, tal vez consistente solamente en mezclar las cantidades estequiométricas aproximadas en un vaso de precipitados y agitar esta mezcla.

Este primer enfoque obvio, a pesar de su sencillez, plantea ya varios problemas a los alumnos. En primer lugar, y como ya comentábamos, es imposible establecer con total certeza la estequiometría de la reacción, si

bien se pueden emplear proporciones muy aproximadas de base y de grasa, puesto que la posible variación en el peso molecular de los triglicéridos que constituyen la grasa es muy pequeña en términos relativos. Con todo, el alumno debe juzgar la relevancia de esta indeterminación en la realización de la práctica; en concreto, debe decidirse sobre la conveniencia de utilizar un exceso (pequeño) de sosa, o de grasa. Lógicamente, es preferible, de cara al consumo humano, un exceso de grasa, siempre que este sea pequeño. Por otro lado, la mezcla directa de la grasa con la base sólida da lugar a un problema práctico de primer orden: tras un primer momento, en el que la formación de jabón es evidente (por la aparición de una sustancia blanca, de consistencia viscosa distinta a la de las grasas de partida, y con el olor característico del jabón), la reacción es muy lenta, y se hace prácticamente imposible hacer reaccionar los fragmentos macroscópicos de la base que hayan quedado en la mezcla de reacción. El profesor debe decidir si indica a los alumnos a priori la conveniencia de emplear una disolución de sosa, o si por el contrario espera a que el problema que mencionábamos con anterioridad se haga evidente a la mayoría de los alumnos. A nuestro juicio, la mejor opción es proponer el uso de la disolución tan sólo a algunas parejas de alumnos, de manera que el resto pueda comparar sus resultados con los de aquellos.

Esto nos lleva a un aspecto que consideramos crucial en el desarrollo de una práctica abierta: la colaboración entre los alumnos. Obviamente, no es esperar que un alumno universitario realice una investigación completa sobre la fabricación de jabón (esto es, resuelva el problema abierto que hemos planteado), tanto por su falta de experiencia como por las limitaciones de tiempo que suponen las prácticas universitarias. Sin embargo, se puede considerar al grupo entero de prácticas como un *equipo de investigación*, de manera que entre todos ellos se llegue

a conclusiones de una cierta validez. De hecho, en el planteamiento de esta práctica hemos comenzado por acotar el problema de la fabricación de jabón a unas pocas opciones, y a separar a los miembros del grupo en parejas que van a estudiar un aspecto concreto del problema así limitado. Este es el procedimiento de trabajo habitual en un laboratorio de investigación. Para que este esquema de trabajo sea efectivo hace falta una dirección, una buena coordinación entre todos los miembros del equipo, y una comunicación y cooperación eficiente entre ellos. El papel de dirección y coordinación lo reservamos, obviamente, para el profesor. En cuanto a la cooperación y comunicación, es necesario habilitar mecanismos para que los resultados de cada pareja sean conocidos, discutidos, y, en su caso, adoptados por el resto del grupo. Somos conscientes de que esto puede sonar voluntarista y utópico, pero, de hecho, este proceder, llevado a cabo de una u otra forma, es el común no ya sólo en los laboratorios "reales" de química, sino en todos los ámbitos en los que se realiza un trabajo de grupo. El procedimiento concreto que sugerimos es el siguiente:

Al final de cada sesión cada pareja debe exponer a toda la clase el procedimiento que haya seguido, las razones para escoger tal procedimiento, los resultados que haya observado, y los problemas que haya encontrado. Se trata de que el resto de los alumnos discutan el enfoque que presentan sus compañeros, en función de sus propios resultados y de sus conocimientos. El profesor debe guiar esta discusión, e, incluso, provocarla, destacando aspectos que le parezcan especialmente relevantes y solicitando a alumnos que estén realizando actividades relacionadas (p. ej., que estén empleando la misma base, o la misma grasa, o un método equivalente) que expongan sus resultados. Queremos destacar que este proceder es, de hecho, muy parecido al de un profesor que resuelve un problema en la pizarra con

la colaboración de los estudiantes. A nuestro juicio, una discusión en grupo bien planteada y dirigida no tendría por que ocupar más de media hora por sesión de prácticas para ser efectiva.

Para que esta discusión que proponemos sea mínimamente seria es necesario que el alumno lleve un registro de las actividades que realiza, indicando los fines que persigue con ellas y los resultados que obtiene. De otra manera, es altamente probable que llegado un momento sea muy difícil establecer los pasos que se han ido dando, y, por lo tanto, la estrategia a seguir en un momento dado de la práctica. En definitiva, los alumnos deben realizar un diario.

En este diario, junto con las actividades de una pareja en concreto, es necesario que los alumnos reflejen los avances que va realizando el grupo en su conjunto. La forma que nos parece más adecuada es la elaboración de una tabla, cuyas entradas serían, por un lado, las bases utilizadas, y por otro, las grasas. En la cuadrícula correspondiente a un par base-grasa dado se debería escribir, resumidamente, los intentos realizados, indicando claramente sus aspectos más importantes (procedimiento, dificultades encontradas y resultados), así como la pareja que lo realizó. De esta manera, cada pareja contará con un registro continuo del trabajo del grupo. Obviamente, las cuadrículas de una tabla normal son, por lo general, demasiado pequeñas como para incluir demasiada información; sugerimos que se entienda el término "tabla" en un sentido amplio, y que cada una de estas cuadrículas sea, en realidad, una o varias hojas. Es fundamental que esta tabla sea llevada al día por todos los alumnos.

El diario de laboratorio así concebido, aparte de indispensable para la realización de la práctica, proporciona al profesor una herramienta inapreciable para su evaluación. Un diario bien realizado, en el que cada intento realizado por el alumno esté bien detallado y razonado, en el que se aprecie una

"comunicación" con el resto del grupo, indica una práctica óptimamente realizada. A nuestro juicio, para asegurarnos de la validez del cuaderno como instrumento de evaluación, este debe cumplir tres requisitos:

- Se debe indicar la fecha a la que corresponde cada anotación. Esto minimiza las posibilidades de elaboración a *posteriori*.
- Los alumnos deben detallar sus líneas de razonamiento al abordar cada intento de fabricación de jabón. A su vez, es muy importante que cuando adopten una idea resultante del trabajo del resto del grupo, se indique con claridad este hecho, así como la procedencia de la idea (discusión en grupo, consulta a un compañero concreto, etc.). Todo esto nos dará elementos de juicio para juzgar tanto el trabajo realizado por el alumno, como la evolución de su "razonamiento químico" a lo largo de la práctica.
- El profesor debe seguir la realización del diario. En primer lugar, porque es de esperar que al menos al principio, muchos alumnos encuentren dificultades al respecto; y en segundo, porque de esta manera el profesor puede seguir "a tiempo real" la evolución de cada pareja, lo que suministra más información para la evaluación.

Después de los primeros intentos, es de esperar que la variedad de enfoques experimentales que adopten los alumnos sea muy alta. De nuevo corresponde al profesor decidir hasta que punto hay que restringir el abanico de opciones en un momento dado. A nuestro juicio, el factor fundamental que se debe tener en cuenta a la hora de guiar el desarrollo de la práctica por el grupo es el tiempo disponible para su realización. Para que esta práctica tenga sentido, es necesario que en el número de sesiones que se dispongan para la práctica, los alumnos puedan realizar una "investigación" sobre la fabricación de jabón lo más completa posible. En concreto, los alumnos deben llegar a algún tipo de conclusiones finales: una posible "estrategia" de fabricación de

jabón; algún tipo de criterios para relacionar la grasa y la base utilizada con el jabón obtenido, etc. Lógicamente, el número de sesiones dependerá del nivel al que el profesor juzgue que la práctica deba ser realizada, y esto estará en función de la experiencia de los alumnos, y de los objetivos generales de las prácticas en las que se encuadre nuestra actividad. A nuestro juicio, las dos situaciones en las que se requeriría de más tiempo para la realización de la práctica serían, por un lado, si esta se encuadra en un curso introductorio de laboratorio, durante el primer curso de carrera; y, por otro, si se adapta a un curso más avanzado, con unos objetivos más ambiciosos. En el primer caso, es esencial que los alumnos se centren en la puesta en práctica de los diferentes procedimientos experimentales básicos del laboratorio (preparación de disoluciones, valoraciones, etc.). Traduciendo esto a nuestra propuesta concreta, los alumnos deben emplear en cada intento las técnicas fundamentales de laboratorio: las disoluciones que se empleen deben hacerse de acuerdo con los procedimientos estándar para garantizar su concentración; el pH de las disoluciones de base, o el de los jabones resultantes debe determinarse por medio de valoraciones; etc. Señalemos que mucha de la información así obtenida es, en rigor, irrelevante para la práctica concreta de elaboración de jabón. Sin embargo, desde el punto de vista didáctico es del mayor interés que los alumnos apliquen sus conocimientos procedimentales a una situación concreta.

Por otro lado, en cursos superiores, donde es de esperar que los alumnos hayan adquirido ya unos fundamentos de trabajo experimental, resulta más conveniente insistir en el carácter investigativo de la práctica. En este caso, más que incidir en la puesta en práctica de técnicas concretas de laboratorio (aun cuando, lógicamente, éstas aparecerán a lo largo de la realización de la actividad), la práctica se orientará al desarrollo de un

"proyecto de investigación en miniatura". En otras palabras, se debe prestar especial atención al planteamiento de objetivos y de estrategias de elaboración del jabón, así como a la elaboración de unas conclusiones al respecto.

En estos dos casos, consideramos que la práctica puede ser llevada a cabo en cinco sesiones de tres horas. Por otro lado, pueden plantearse prácticas menos ambiciosas que pueden realizarse en menos tiempo.

APÉNDICE: ALGUNOS ASPECTOS ÚTILES PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

No es el objeto de este artículo entrar en un estudio en profundidad de la química de la fabricación del jabón. Con todo, es interesante destacar algunos aspectos que, a nuestro juicio, pueden suponer dificultades a la hora de que los alumnos realicen la práctica:

- Como ya indicábamos, la base reacciona con dificultad en frío con la grasa. El problema está en que a medida que la grasa se saponifica, se forman micelas que hacen que los triglicéridos no entren en contacto con los iones hidróxido. Una opción para acelerar la reacción es calentar la mezcla. Si se dispone de material, una posibilidad óptima es calentar a reflujo. Como ampliación de esta práctica, a un nivel avanzado de la carrera, se puede realizar una simulación por ordenador de la mezcla de reacción, empleándose métodos de mecánica molecular (existen programas de gran calidad para PC). En estas simulaciones se puede apreciar como el aumento de la temperatura conduce a una mayor labilidad de las micelas, y, por lo tanto, a una mayor velocidad de reacción.
- Si se emplea un exceso de grasa, esta se dispone en la fase superior, por encima del jabón y de la capa básica acuosa (capa inferior). Este exceso se puede retirar fácilmente, sobre todo si se emplean aceites. Con todo, no recomendamos emplear el embudo de decantación para separar las tres fases, puesto que el jabón se compacta rápidamente y atasca el paso del embudo. Obviamente, una pequeña parte del exceso de grasa queda retenida

por el jabón, en el interior de micelas formadas por los carboxilatos. Este pequeño exceso se podría eliminar tratando de nuevo con sosa, aunque, de hecho, el jabón que contiene una pequeña cantidad de grasa residual, sobre todo en el caso de los aceites, es notablemente suave y tiene un olor muy agradable.

- En cuanto al exceso de base, a diferencia de lo que ocurre con las grasas, es difícil de eliminar, especialmente si se emplea potasa. A su vez, este exceso de base hace que el jabón sea de uso desagradable, e, incluso, peligroso. En definitiva, consideramos que la mejor manera de proceder es utilizar siempre un exceso de grasa.
- En las recetas tradicionales de jabón, junto con la base y la grasa se suele añadir sal común. Cuando se añade cloruro sódico a la mezcla de reacción se aprecia una separación muy rápida de las diferentes fases (agua-glicerina, jabón, y grasa sin reaccionar), lo que hace más fácil la obtención del jabón. A su vez, la reacción es apreciablemente más rápida. En este caso, la adición de sal lo que hace es dar lugar a una concentración muy elevada de iones Na^+ en la disolución, con lo que el equilibrio de solubilidad de los carboxilatos de sodio que constituyen el jabón se desplaza hacia la forma no ionizada. Los carboxilatos no disociados no forman micelas, lo que da lugar a una separación

nitida de la grasa del jabón. Esto, a su vez, hace que la reacción sea más rápida, al aumentar el contacto entre moléculas de la grasa y e iones hidróxido. A su vez, la solubilidad de la glicerina en el jabón disminuye drásticamente al añadirse sal (la razón es, de nuevo, la formación de carboxilatos de sodio, que al no presentar una carga neta apenas son solubles en un compuesto polar, como es la glicerina). Lógicamente, si se emplea potasa se debe utilizar cloruro potásico para separar las fases. Como en el caso anterior, una simulación por ordenador puede ser muy ilustrativa para entender este fenómeno.

- La eliminación de los excesos de sosa y de sal es fundamental para obtener un jabón de calidad. En cuanto a la sosa, huelga decir que su exceso da lugar a un jabón que es sencillamente no apto para su utilización. Con respecto a la sal, su exceso hace que el jabón sea poco soluble, con escaso poder limpiador. El lavado del jabón resultante es, por lo tanto, indispensable. Los jabones de sosa no plantean muchos problemas, sobre todo si se ha añadido sal a la mezcla de reacción. En cualquier caso, es recomendable realizar un primer lavado antes de que el jabón se haya empezado a compactar (si se añade sal, esto ocurre en dos o tres días). Para realizar este lavado se puede emplear una disolución caliente muy diluida de ácido

clorhídrico (aproximadamente 10^{-5} M). Para lavar el jabón compactado es necesario fundirlo (calentando al baño maría) antes de añadir la disolución ácida.

- Hay una diferencia muy grande entre los jabones fabricados a partir de sosa y los hechos con potasa. Los primeros son jabones de consistencia dura y de tacto suave, mientras que los jabones de potasa son blandos, incluso líquidos, debido a la mayor solubilidad de los carboxilatos de potasio con respecto a los de sodio. A su vez, cuando no se separa la glicerina, los jabones de potasa dan lugar a geles con una capacidad de retener agua, lo cual dificulta enormemente su lavado para la eliminación de impurezas.
- En cuanto a las grasas, los aceites de girasol y de oliva dan lugar a jabones muy parecidos (a igual base empleada). Empleándose sosa, el jabón resultante es compacto y de tacto suave, de color crema muy claro. Si se emplea potasa, el jabón es mucho menos compacto, de tacto muy suave y agradable. Si no se añade cloruro potásico, se obtiene un gel de consistencia gelatinosa.
- La manteca de cerdo con sosa da un jabón mucho más denso y compacto que el resultante de emplear aceites. Si se usa potasa, el jabón resultante es un sólido blando. En ambos casos el color es blanco.

AQ

REFERENCIAS

1. BARBERÁ, O y VALDÉS, P (1996) El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), pp. 365-379.
2. LOCK, R. (1988). A history of practical work in school science and its assessment, 1860-1986. *School Science Review*, 70(250), pp- 115-119.
3. LAYTON, D. (1990). Student laboratory practice and the history and philosophy of science, en *The student laboratory and the science curriculum*, editado por Elizabeth Hegarty-Hazel. Londres:Routledge.
4. GEE, B. y CLACKSON, S.G. (1992). The origin of practical work in the English school science curriculum. *School Science Review*, 73 (265), pp. 79-83.
5. BUCHAN, A.S. y JENKINS, E.W. (1992). The internal assessment of practical skills in science in England and Wales 1960-1991: Some issues in historical perspective. *International Journal of Science Education*, 14, pp. 367-380.
6. THIJS, G.D. y BOSCH, G.M. (1995). Cognitive effects of science experiments focusing in student's preconceptions of force: a comparison of demonstrations and small group practices. *International Journal of Science Education*, 17, pp. 311-323.
7. MARTÍNEZ AZNAR, M.M. y OVEJERO MORCILLO, P (1997). Resolver el problema abierto: teñir lanas a partir de productos colorantes naturales. Una actividad investigativa para la E.S.O. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), pp. 401-422.
8. LYNCH, M.; GEARY, N.; HAGAMAN, K.; MUNSON, A.; SABO, M. (1999) Building the Interest of High School Students for Science-A PACT Ambassador Program To Investigate Soap Manufacturing and Industrial Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 76, pp. 191
9. Soapmaking (1999) . *Journal of Chemical Education*, 76 192A.
10. PHANSTIEL, O., IV; DUENO, E.; WANG,Q. X. (1998) Synthesis of Exotic Soaps in the Chemistry Laboratory *Journal of Chemical Education*, 75, 612.