

Aportaciones a la
didáctica de la química

Los acertijos químicos de Sherlock Holmes*

Montagut B. Pilar, Sansón O. Carmen, González M. Rosa Ma. **

Dr. Watson: "Holmes, siempre me impresiona la frecuencia con que la aplicación de los principios químicos resuelven los problemas comunes." (Waddell, 1993)

Abstract (The chemical riddle of Sherlock Holmes)

This work presents some didactic options that allow transforming practical work, such that it acquires the characteristics of a research exercise that leads to effective familiarization of the students with the essential aspects of the scientific method. Simultaneously, these options contribute to the (re)construction of knowledge, surpassing the simple transmission-reception of already elaborated knowledge.

Resumen

En este trabajo se presentan opciones didácticas que permitan transformar los trabajos prácticos, de forma que posean las características de un trabajo de investigación y conduzcan a una efectiva familiarización de los alumnos con los aspectos esenciales de la metodología científica, al tiempo que contribuyan a la (re)construcción de conocimientos, superando la simple transmisión-recepción de conocimientos ya elaborados.

Introducción

Las investigaciones educativas realizadas en los últimos años sobre la enseñanza de las ciencias enfatizan que existe la necesidad de generar y utilizar estrategias de enseñanza para coadyuvar a la construcción del conocimiento.

No hay duda de que la Ciencia es una actividad práctica y que una parte de la actividad científica tiene

lugar en el laboratorio. Sin embargo, la estructura "clásica" de los experimentos en la escuela se basa en entregar a los estudiantes un protocolo de actividades y material e instrumentos adecuados para estudiar los diferentes fenómenos, generalmente de forma cuantitativa. En un gran número de casos, este procedimiento se apoya sobre la hipótesis de que se proporciona una cierta "autonomía" a los estudiantes: durante cierto lapso de tiempo el educando se enfrenta con la realidad de la experimentación, debiendo a su vez de poner en acción los conocimientos adquiridos en el curso y así consolidarlos, o bien, adquirir otros (Richoux y Beaufile 2003).

El análisis de la naturaleza de estos trabajos demuestra que se trata de prácticas de verificación, ilustración o de desarrollo de técnicas de laboratorio (Grau, 1994).

De aquí la necesidad de plantear el aprendizaje de las ciencias como una investigación, una investigación dirigida, de situaciones problemáticas de interés.

Gil y colaboradores proponen la siguiente estrategia flexible, ya que no tiene que seguir forzosamente una secuencia pre-determinada (Campanario y Moya, 1999; Gil, 1993):

- a) Se plantean situaciones problemáticas que generen interés en los alumnos y proporcionen una concepción preliminar de la tarea.
- b) Los alumnos, trabajando en grupo, estudian cualitativamente las situaciones problemáticas planteadas y, con las ayudas bibliográficas apropiadas, empiezan a delimitar el problema y a explicitar ideas.
- c) Los problemas se tratan siguiendo una orientación científica, con emisión de hipótesis (y explicitación de las ideas previas), elaboración de estrategias posibles de resolución y análisis, y comparación con los resultados obtenidos por otros grupos de alumnos. Es ésta una ocasión para el conflicto cognitivo entre concepciones diferentes,

** Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México
pilarmb@servidor.unam.mx

* Recibido: 22 de marzo de 2004 Aceptado: 9 de agosto de 2004

lo cual lleva a replantear el problema y a emitir nuevas hipótesis.

d) Los nuevos conocimientos se manejan y aplican a nuevas situaciones para profundizar en los mismos y afianzarlos. Éste es el momento más indicado para hacer explícitas las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Con base en lo anterior, a continuación describimos nuestra propuesta en un intento por orientar los trabajos prácticos como pequeñas investigaciones, destacando la importancia de éstas para resolver problemas prácticos.

Presentación

Como evaluación final del curso de laboratorio de Química General, se seleccionó una serie de ocho historias misteriosas, con pistas al estilo de Sherlock Holmes, publicadas en el Journal of Chemical Education (Waddell y Rybolt, 1989 a 1998). Las aventuras se centran en una serie de circunstancias (acertijos) a resolver mediante experimentos químicos sencillos. Las lecturas están escritas a propósito para el gran detective y su compañero, el Dr. Watson, a quien se le complican las conjeturas descritas. Hay un corte en las historias donde los lectores (estudiantes y profesores) pueden ponderar y resolver el misterio. Sherlock da la respuesta en los párrafos que siguen después del corte.

Metodología

El estudio se realizó con tres grupos de estudiantes (A, B, C) conformados por 18 alumnos cada uno, que cursaban la asignatura Química General, que se imparte durante el primer semestre en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Cada grupo estaba a cargo de una de las autoras de este trabajo.

Los estudiantes se integraron en equipos variables y pequeños, de dos o tres personas según el caso, a manera de incrementar el nivel de participación y la motivación de los alumnos. A cada equipo se le asignó una aventura diferente y la investigación se desarrolló en el transcurso de dos semanas (un total de 16 horas).

Cada profesora dedicó dos sesiones de laboratorio (de 2 horas cada una) para realizar el planteamiento de la

investigación. En la sesión inicial los estudiantes presentaron el caso a resolver y respondieron a preguntas de sus pares, acerca de la lectura. Esta actividad incrementó su comprensión sobre la situación a resolver, además de que la profesora proporcionó información extra donde era necesaria.

En el momento de iniciar esta investigación dirigida, se habían desarrollado los siguientes contenidos básicos de la asignatura: materia, cambios de estado, fenómenos físicos y químicos, tabla periódica, reacción química, balanceo de ecuaciones químicas, nomenclatura y fundamentos de estequiometría.

En el laboratorio, habían realizado los experimentos que indica el programa de la asignatura, siguiendo la técnica de microescala y cumpliendo con las reglas de higiene y seguridad (Carrillo et al, 2002)

Actividades

La implementación del trabajo práctico de investigación se basó en las cinco fases o etapas propuestas por Caamaño y Corominas (2002): identificación del problema, planificación, realización, evaluación y comunicación.

1. *Fase de identificación del problema* que, en nuestro caso, comprendió las siguientes actividades:
 - o Lectura y traducción del artículo, del inglés al castellano, por cada equipo.
 - o Planteamiento del objetivo de la investigación.
 - o Identificación del problema a resolver.
2. *Fase de planificación*, que se dividió en:
 - o Investigación bibliográfica, hemerográfica y electrónica de los conceptos y ecuaciones químicas relacionadas con los experimentos
 - o Diseño y planificación de los experimentos para resolver "los acertijos" de Sherlock Holmes.
3. *Fase de realización*, que constó de:
 - o Selección del material y reactivos requeridos para realizar la experimentación.
 - o Diagrama de flujo, propuesto por los estudiantes, del procedimiento experimental (ver Figura 1).
 - o Actividad experimental.
4. *Fase de evaluación*, compuesta por:
 - o Interpretación y discusión de los resultados

obtenidos utilizando la V de Gowin (ver Figura 2).
o Contrastación de las explicaciones a los acertijos presentadas por Sherlock Holmes con los resultados obtenidos en el laboratorio.

5. *Fase de comunicación*, que incluyó:

o Redacción y entrega del informe, presentación oral de un cartel, ante sus compañeros y el profesor, con lo más relevante de la investigación y el mapa conceptual de los experimentos realizados.

Los acertijos

Las aventuras seleccionadas fueron las siguientes:

1. El incendio en la calle del panadero (Waddell y Rybolt, 1998)
2. El problema de la prisión de Woolthshrap (Waddell y Rybolt, 1995)
3. El galgo de Henry Ermitage (Waddell y Rybolt, 1994)
4. El caso de la solución estequiométrica (Waddell y Rybolt, 1993)
5. El caso del padrastro gritón (Waddell y Rybolt, 1992)
6. Un cuento de navidad (Waddell y Rybolt, 1991)
7. Sherlock Holmes y los prismas amarillos (Waddell y Rybolt, 1989)
8. Sherlock Holmes y el fraude de la cetona (Waddell y Rybolt, 1990)

Como ejemplo sólo se presenta uno de los acertijos siguiendo la secuencia descrita.

EL CASO DEL PADRASTRO GRITÓN (Waddell y Rybolt, 1992)

En una noche de tormenta, el Dr. Watson (W.) conversaba con Sherlock Holmes (S.H.), cuando de repente tocaron desesperadamente a la puerta, era la medianoche, por lo que los interlocutores se alarmaron. Finalmente abrieron la puerta y se encontraron con un joven de aproximadamente 18 años, quien suplicaba a S. H. lo ayudara, pues su padrastro lanzaba tales gritos que él estaba realmente alarmado, ya que no sabían qué le pasaba. Holmes invitó al muchacho a que les informara el por qué considera-

ba que ellos (S.H. y W.) podrían ayudarle con su padrastro. El chico les explicó que probablemente el padrastro estaba enfermo y que W. podría saber qué le sucedía, ya que desde hacía una semana se quejaba de dolores en el estómago, pero esa noche en especial el señor Wooley (que era el nombre del padrastro) daba unos gritos espantosos. S.H. le pidió al joven que les comentara sobre sus hábitos alimenticios. El joven indicó que tanto su madre como su abuela cocinaban para él y, recientemente, gustaba de comer grosellas; ninguno las comía, sólo él.

W. y S.H. se dirigieron a la casa de los Wooley. Ahí, W. se ocupó del padrastro y S.H. estuvo observando la casa, especialmente la cocina, donde encontró los restos de la cena y un plato de grosellas verdes. W. se quedó con el Sr. Wooley el resto de la noche y S.H. partió con el plato de grosellas verdes. Al día siguiente regresó a la casa de los Wooley donde anunció a W. que tenía información valiosa. W. preguntó a S.H. qué haría para resolver el caso, a lo que respondió S.H.: Química, mi buen socio, ésta es sin duda una de nuestras aventuras químicas. De hecho ya he realizado, durante la noche, una serie de análisis en mi laboratorio.

Las pruebas que llevó a cabo S.H. fueron las siguientes:

- Tomó un poco de jugo de grosella, lo diluyó para que desapareciera el color verde y adicionó disolución de amoníaco, apareciendo una coloración azul intensa. Después agregó ácido clorhídrico y la coloración desapareció. Posteriormente, esta misma disolución la trató con ferrocianuro de potasio, y obtuvo un precipitado rojo.
- A otra porción del jugo de grosella, le adicionó ácido sulfúrico y después alcohol de grano. Al calentarlo se desprendieron vapores con olor a fruta.
- Introdujo dentro del tarro que contenía las grosellas, una cuchara de acero inoxidable. Cuando la sacó, ésta había tomado una apariencia brillante, similar a la del bronce.

Detente aquí y resuelve el misterio.

1. ¿Qué revelaron las pruebas químicas realizadas por S.H.?
2. ¿Cuál fue el veneno utilizado?
3. ¿Quién fue el culpable

Solución del misterio

S.H. llegó a la conclusión de que el Sr. Wooley se había intoxicado a consecuencia de las grosellas que había comido, debido al inusual color verde que presentaban.

- Con la primera prueba, S.H. comprobó que parte del veneno contenía iones cobre (II) en disolución y, por ello, cuando adicionó amoníaco a la disolución que contenía el jugo de las grosellas ésta tomó una coloración azul intensa, debido a la formación del complejo cobre-amoniaco, el cual se rompe al adicionar ácido. Cuando se agrega el ferrocianuro de potasio se forma un precipitado rojo de hexacianoferrato de cobre (II).
- Con la segunda prueba se hace evidente la presencia de iones acetato, ya que al calentar el jugo durante un rato en presencia de ácido sulfúrico y alcohol, se forma el éster identificándose por el olor a fruta.

- La última prueba corrobora la presencia de iones cobre (II). Cuando se introduce la cuchara de acero inoxidable al tarro que contiene las grosellas, se lleva a cabo una reacción de óxido-reducción en la que el cobre se reduce a cobre metálico, recubriéndose la cuchara de este metal.

Con estos experimentos S.H. llegó a la conclusión de que el causante de los terribles dolores era el acetato de cobre (II). Faltaba por descifrar quién era el envenenador. Al investigar por los alrededores de la casa de los Wooley y en la tienda de abarrotes donde vendían las grosellas, S.H. averiguó que se habían presentado otros cinco casos parecidos al del Sr. Wooley. Se dirigió a la tienda, tomó uno de los tarros que contenían las grosellas e introdujo la cuchara de acero inoxidable tomando ésta el color amarillento. Luego el culpable era el dueño de la tienda, quién adicionaba acetato de cobre (conocido como "verdigris") a las grosellas para darles un atractivo color verde. Es decir, el móvil fue la avaricia del tendero.

Hasta aquí, un resumen del artículo que presentaron los estudiantes. A continuación se presentan las actividades y las pruebas realizadas por ellos.

Actividades efectuadas por los alumnos.

FASE DE PLANIFICACIÓN

Consulta del Index Merck para conocer las propiedades físicas y químicas del acetato de cobre, así como su toxicidad.
Informarse sobre la toxicidad de los reactivos que usará en el laboratorio.
Adecuar las cantidades de reactivos para utilizar la técnica de microescala.
Redacción de "Cápsulas Químicas", en las que se explican los conceptos involucrados en la investigación y las ecuaciones de las reacciones.
Recopilación de las referencias bibliográficas y hemerográficas.
Diagrama de flujo del proceso experimental a seguir
Manejo y disposición de los residuos generados

FASE DE REALIZACIÓN

Reacción de formación del complejo cobre(II)-amoniaco
Reacción del complejo cobre(II)-amoniaco con ácido clorhídrico
Reacción de precipitación del hexacianoferrato de cobre (II)
Reacción de reducción de ión cobre(II) con un clavo de acero inoxidable
Reacción de esterificación del ácido acético con el alcohol etílico

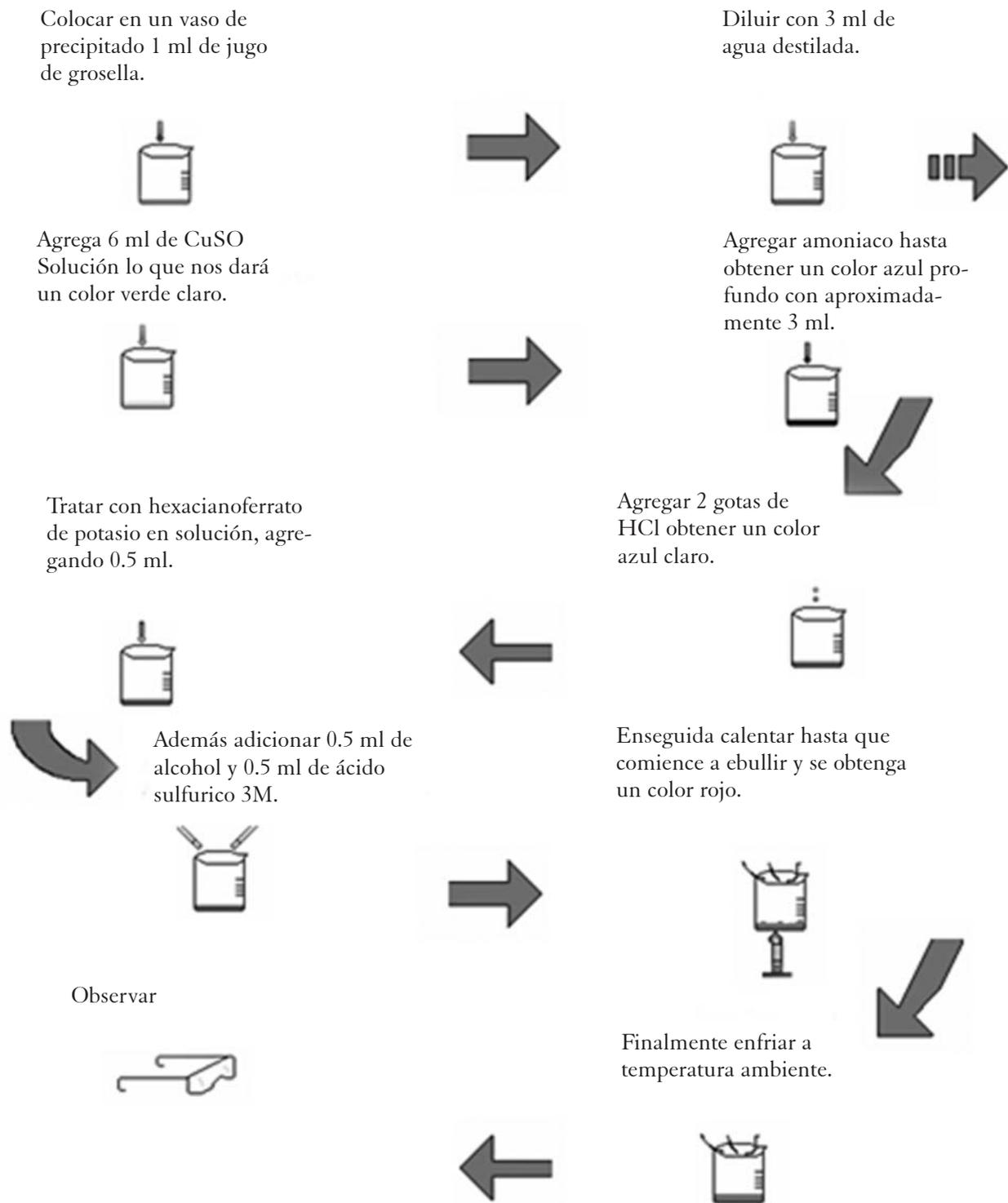


Figura 1. DIAGRAMA DE FLUJO del proceso experimental propuesto por un equipo de alumnos.

FASE DE EVALUACIÓN

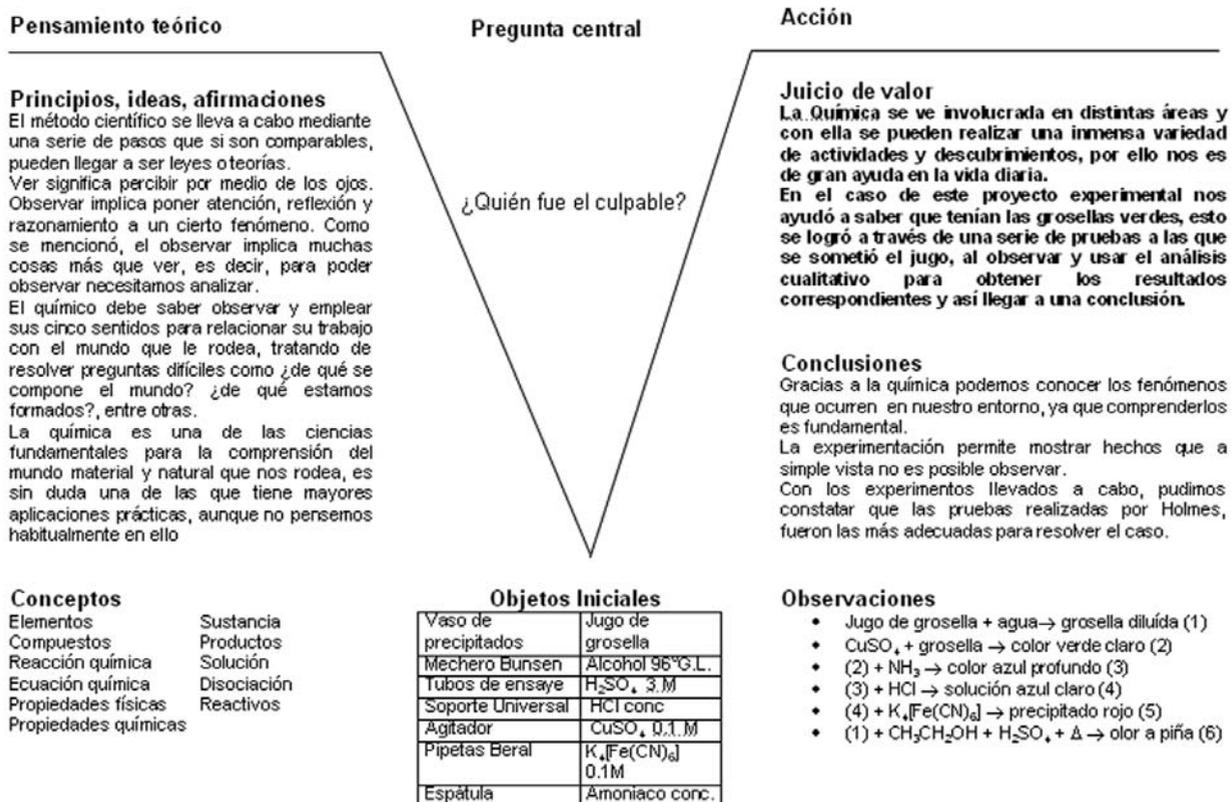
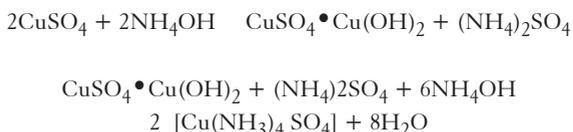


FIGURA 2. V de GODWIN

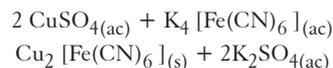
Cápsulas Químicas

1. El ión cobre (II) con disolución de hidróxido de amonio forma un precipitado azul celeste de una sal básica, soluble en exceso de reactivo con formación de una solución de color azul intenso que contiene la sal compleja sulfato de tetramincobre (II), [Cu(NH₃)₄] SO₄ (Aráneo, 1981):



2. Con solución de ferrocianuro de potasio el ion cobre (II) forma un precipitado pardo rojizo de ferro-

cianuro de cobre (II), Cu₂ Fe(CN)₆, en disoluciones neutras o ácidas (Aráneo, 1981):



3. Los iones cobre (II) se depositan sobre un objeto de hierro metálico en forma de cobre elemental, debido a un proceso de oxido-reducción:

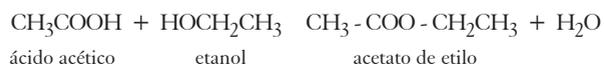


4. Los ésteres se utilizan en la manufactura de perfumes y como agentes saborizantes en las industrias

de confitería y de bebidas gaseosas (Kotz y Treichel, 2003).

Muchas frutas deben su olor y sabor característicos a la presencia de pequeñas cantidades de ésteres.

Los ésteres se pueden obtener a partir de un ácido carboxílico y un alcohol:



Aromas de ciertos ésteres (Moore et al, 2000).

Nombre del éster	Aroma
Acetato de 3-metilbutilo	Plátano
Pentanoato de 3-metilbutilo	Manzana
Butanoato de butilo	Piña
Butanoato de bencilo	Rosa

Conclusiones

Con esta estrategia se pretende que los alumnos sean protagonistas de su aprendizaje. Sin embargo, para que tal situación se dé, es necesaria una adecuada dirección del profesor. Es importante destacar que el docente debe supervisar el trabajo ofreciendo ayudas puntuales cuando sea necesario, estar atento al desarrollo de las tareas, coordinar la puesta en común entre los estudiantes para reformular los resultados, así como clarificar y complementar el trabajo de los equipos.

La discusión colectiva es de gran riqueza. Los estudiantes, al trabajar en pequeños grupos, interactúan y se propicia el intercambio de información durante la resolución del problema. Se favorece el uso del lenguaje científico escolar, tanto en los debates como en los informes, así como en los mapas conceptuales. Los alumnos aprenden, poco a poco, a describir, explicar, justificar...

Los mapas conceptuales y los diagramas de Gowin son recursos realmente útiles para lograr el aprendizaje significativo.

No obstante, al igual que sucede con otras estrategias, el aprendizaje como investigación no está exento de problemas. Requiere de mayor dedicación por parte del alumno, lo cual "choca" con los hábitos pasivos de

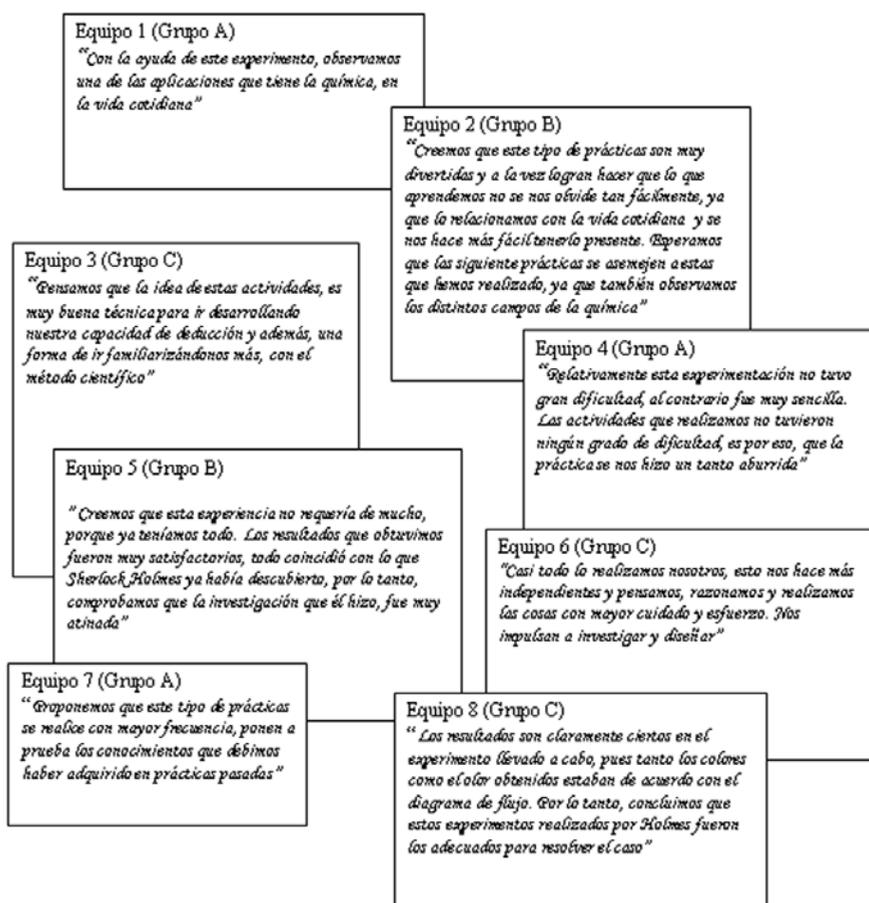
éstos desarrollados tras años de inmersión en la enseñanza tradicional. Una de las dificultades tiene que ver con la capacidad investigadora de los alumnos, por lo que hay que plantear situaciones muy simples. Es más cómodo para los alumnos recibir indicaciones o, quizás, no encuentran interesantes las situaciones que se plantean en el trabajo de investigación. De ahí el marcado carácter de investigación dirigida que presenta este enfoque.

En nuestro caso un alumno del grupo B no estaba dispuesto a realizar el esfuerzo que conlleva este modo de aprender distinto al que estaba acostumbrado. Aunque se negó en un principio, se contagió del entusiasmo de sus compañeros y se sumó a la acción. Trabajó solo (le correspondió el caso de S.H. y los prismas amarillos) y presentó, en opinión de la mayoría, el mejor cartel del grupo B.

También encontramos que existe una resistencia a leer en otro idioma debido a la dificultad que implica, la mayor parte de las veces, no dominarlo. Se reforzó la necesidad de estudiar el inglés, ya que la gran mayoría de la literatura científica se publica en ese idioma además de que, en nuestra escuela, debe acreditarse el examen de traducción de inglés técnico para presentar el examen de licenciatura.

Otro reto a superar fue que el artículo no explica cómo realizar los experimentos, no informa sobre las concentraciones de los reactivos ni cantidades a utilizar, así como tampoco describe el material que se debe emplear en este trabajo. Todas las "investigaciones" se realizaron en microescala, técnica que ya habían practicado los alumnos (Carrillo et al, 2002)

No obstante, la realización de estos experimentos cualitativos proporcionó a los estudiantes la oportunidad de seguir su propia iniciativa y de poner en práctica parte de los conocimientos adquiridos. Los comentarios de la mayoría de los alumnos al respecto, fueron muy positivos, aunque hubo algunos negativos. Se citan, textualmente, varios de ellos:



Referencias

- Aráneo A, *Química Analítica Cualitativa*. McGraw Hill, Colombia, 1981, p. 352-354, 473-475.
- Caamaño A., Corominas J. *Batxillerat. Treballs pràctics de Química*. Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament. 2002, p. 1-7.
- Campanario J.M., Moya A. ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), p. 179-192, 1999.
- Carrillo M., González R., Hernández G., Montagut P., Nieto E., Sandoval R., Sansón C. MICROESCALA. *Química General. Manual de Laboratorio*. Pearson Educación de México. 2002, p. 1-18.
- Gil Daniel, Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, p197-212, 1993.
- Grau Ramón. ¿Qué es lo que hace difícil una investigación? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. No. 2, p. 50-61, 1994.
- Kotz J.C., Treichel P.M. *Química y reactividad química*. Thomson, México, 5ª ed., 2003, p. 445, 449-452
- Moore J., Stanitski C., Kotz J.C., Melvin D.J. *El mundo de la química*. Pearson educación, México. 2000, p. 479-483
- Richoux H., Beaufils D. La planificación de las actividades de los estudiantes en los trabajos prácticos de física: análisis de prácti-

- cas de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1), p. 95-106, 2003.
- Waddell T., Rybolt T. The Chemical Adventures of Sherlock Holmes, The Baker Street Burning. *J. Chem. Ed.*, 75, No. 4, p. 484-486, 1998.
- Waddell T., Rybolt T. The Chemical Adventures of Sherlock Holmes, The Problem of Woolthshrap Prison. *J. Chem. Ed.*, 72, No. 12, p. 1090-1092, 1995.
- Waddell T., Rybolt T. The Chemical Adventures of Sherlock Holmes, The Hound of Henry Ermitage. *J. Chem. Ed.*, 71, No. 12, p. 1049-1051, 1994.
- Waddell T., Rybolt T. The Chemical Adventures of Sherlock Holmes, The Case of the Stoichiometric Solution. *J Chem Ed*, 70, No. 12, p.1003-1005, 1993.
- Waddell T., Rybolt T. The Chemical Adventures of Sherlock Holmes, The Case of the Screaming Stepfather. *J Chem Ed*, 69, No. 12, p. 999-1001, 1992.
- Waddell T., Rybolt T. The Chemical Adventures of Sherlock Holmes, a Christmas Story. *J Chem Ed*, 68, No. 12, p. 1023-1024, 1991.
- Waddell T., Rybolt T. The Chemical Adventures of Sherlock Holmes, Sherlock Holmes and the Fraudulent Ketone. *J Chem Ed*, 67, No. 12, p 1006-1008, 1990.
- Waddell T., Rybolt T. The Chemical Adventures of Sherlock Holmes, Sherlock Holmes and the Yellow Prisms. *J Chem Ed*, 66, No. 12, p. 981-982, 1989.