

I MODELO DIDACTICO PARA EL APRENDIZAJE DE LA QUIMICA BASICA CON ALUMNOS DE BAJO DESEMPEÑO

II Chamizo J.A., Sosa P., Sosa A.

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México,
04510 México D.F., México

III A partir de un examen diagnóstico se identifican los conocimientos de química de los cerca de 1000 alumnos que en los últimos años ingresan a la Facultad de Química de la UNAM. A los de peor desempeño se les invita a tomar un curso teórico-práctico compensatorio que ambiciona regularizarlos. Aquí se presentan los resultados de un modelo didáctico que partiendo de esa realidad modifica totalmente los procedimientos habituales de trabajo y/o estudio, tanto en el salón de clases como en el laboratorio, de ese grupo de alumnos. Dicho modelo considera cuatro modalidades de aprendizaje (teoría, laboratorio, proyectos de investigación teórico-prácticos y taller de lectura, con pesos equivalentes en la evaluación final). A su vez el curso en sus cuatro modalidades está dividido en cuatro temas: modelos y lenguaje, materia, mol, y cambio. Los instrumentos para la evaluación del aprendizaje son también novedosos para este grupo y consideran, entre otros, mapas conceptuales, V epistemológicas y portafolios, además de los tradicionales exámenes departamentales a los que todos los alumnos de esta asignatura son sujetos. Además se introduce de manera sistemática el uso de la computadora para obtener información académica y/o para el seguimiento de las actividades cotidianas.

IV Química, conceptos fundamentales, enseñanza experimental, estrategias didácticas

V Objetivos

Este trabajo es una exploración para reconocer estrategias didácticas eficaces con alumnos universitarios de química de bajo rendimiento.

Descripción del trabajo

Cada año ingresan a la Facultad de Química de la UNAM cerca de 1000 estudiantes muchos de los cuales lo hacen cumpliendo con el “pase automático”, acuerdo institucional que garantiza a todos los alumnos de la UNAM provenientes de su bachillerato (en el que se encuentran inscritos un poco más de 100 000 estudiantes) a cursar una licenciatura. Estos no son todos los alumnos que intentan seguir una carrera relacionada con la química una vez que la misma UNAM tiene otros dos *campus* en la Ciudad de México en los que se puede estudiar una licenciatura de esta disciplina. Sin embargo la Facultad de Química es, además de la más antigua la más solicitada y a decir de muchos, la más importante. En ella, en los últimos treinta años, los alumnos de nuevo ingreso han venido contestando un examen diagnóstico (desde luego, diferentes versiones del mismo) en donde se presentan preguntas sobre los conocimientos identificados por los profesores de la Facultad (aquellos que imparten asignaturas del primer año) como fundamentales y que además forman parte de los planes y programas de estudio del bachillerato. Los resultados han sido y son muy

malos. En términos generales se puede decir que los alumnos aciertan únicamente la mitad de los reactivos que se les pregunta. Lo que sigue es una alta deserción y un importante retraso en el tiempo para concluir su carrera. En vista de lo anterior se decidió establecer un curso compensatorio al que llamamos *Química Básica*. Así, a los alumnos de peor desempeño en el examen diagnóstico (para este fin son 300 alumnos integrados en seis grupos) se les invita a tomar este curso que no tiene valor curricular, pero que sin embargo por su horario resulta atractivo. Seis diferentes grupos de profesores proponemos diferentes estrategias una de las cuales es la informada en la presente ponencia.

El curso considera cuatro modalidades de aprendizaje y cada una representa el 25% del promedio final antes de presentarse al examen final. Estas modalidades son: Teoría, Laboratorio, Proyecto de investigación teórico-práctico y Taller de lectura. Todas se describen a continuación:

- **Teoría.** Para el desarrollo de esta parte se consideran cuatro horas a la semana durante 16 semanas. En vez de pretender abarcar toda la química en un solo curso, se decidió escoger unos cuantos temas y metas y trabajar sobre ellos con gran intensidad.

Recientemente se ha venido discutiendo cual es la esencia de la química, aquella que todo individuo debe conocer (Chamizo, 2002; van Berkel, 2000). De esta discusión y de recientes investigaciones educativas se identificaron los temas centrales del curso:

- El conocimiento científico se genera a través de modelos (Justi, 2002), y uno de ellos es el lenguaje
- Las sustancias consisten de partículas (Barker, 2000)
- El mol es la unidad fundamental de la química (Garritz, 2004)
- Durante los procesos químicos, las sustancias se transforman y hay un cambio de energía asociados a los mismos. (Spencer, 2000)

Temas que se concretaron alrededor de otras tantas metas y que fueron:

- Que los alumnos reconozcan que la discusión científica se realiza en términos de modelos y no de “realidad”.
- Que los alumnos sepan interpretar el código de las fórmulas químicas.
- Que los alumnos sean capaces de realizar cálculos químicos en términos de cantidad de partículas.
- Que los alumnos sepan interpretar el código de las representaciones de Lewis.

Todos estos temas fueron abordados empleando la modalidad de curso-taller. La mayoría de los mismos “deberían” ser comprendidos por los alumnos, pero sus resultados en el examen diagnóstico indican lo contrario. Los profesores preparamos material didáctico *ad hoc*, lo repartimos entre los alumnos y lo discutimos en clase (para esto hubo que solicitar un salón horizontal en el cual se pudieran mover libremente las sillas de los alumnos, asunto que en nuestra universidad es excepcional). Ocasionalmente empleábamos un libro de texto el cual es el resultado de diversas investigaciones educativas sobre estos temas (Spencer, 2000), o materiales que solicitábamos bajar de la red (por ejemplo información de la tabla periódica, ver Keele, o sobre los principales productos químicos en términos de su producción industrial). Se trabajó intensamente en que los alumnos operaran e hicieran experiencia escolar alrededor de las ideas centrales. En general, se pretendió que dichas actividades fueran de lo familiar a lo nuevo, de lo fácil a lo difícil y de lo concreto a lo abstracto. Así, los ejercicios de cálculos químicos se diseñaron tomando en cuenta el nivel de dificultad. Los primeros ejercicios manejaban números cercanos a la unidad (entre las milésimas y los miles) y poco a poco se fueron usando números cada vez más pequeños y cada vez más grandes. Así, la notación científica apareció como respuesta a una necesidad y no como mera imposición. También se manejó una estrategia para llevar a los alumnos desde la muy usada pero muy limitada “regla de 3” hasta la técnica de los factores unitarios.

Alrededor de cada tema se dejaban tareas. La mayoría de ellas con ejercicios similares a los realizados en clase, sin embargo cinco de ellas buscaban establecer una conexión con la vida cotidiana donde los estudiantes tenían que averiguar qué son y para qué sirven distintas sustancias (se escogieron las 50 más importantes desde el punto de vista industrial). Con el material revisado en clase y en las tareas se construyeron los cuatro exámenes parciales en modalidad de opción múltiple. Estos, con los resultados de las demás actividades iban indicando la calificación de cada alumno, periodo tras periodo. Adicionalmente todos los alumnos incorporados en este programa contestaron dos exámenes departamentales.

- **Laboratorio.** El trabajo experimental es abierto, con ello se busca que los alumnos, a partir de una pregunta generadora, (TABLA 1) propongan un procedimiento experimental e investiguen la información que consideren necesaria para responder a la pregunta. Siempre se buscó que la pregunta fuera clara y el trabajo experimental sencillo de realizar con el fin de que los alumnos pudieran hacer propio el objetivo de la práctica y contar con los elementos básicos para proponer un procedimiento viable. Durante el trabajo experimental se permitió que los alumnos modificaran y/o extendieran el procedimiento propuesto observándose en general mucho entusiasmo ante esta apertura. Al término de cada una de las prácticas se pidió a los alumnos que indicaran los aciertos y los errores del procedimiento propuesto originalmente además de dar una respuesta concreta a la pregunta generadora. Para ello aprendieron a construir Ve epistemológicas. (Chamizo, 2000). Las sesiones de laboratorio consideran 8 horas a la semana y los alumnos, en parejas, responden una pregunta por semana de acuerdo a la siguiente mecánica:

- Los alumnos reciben previamente (o bajan de la red WWW) una hoja informativa que contiene el título, una introducción muy breve y la pregunta generadora de la práctica.
- La primera sesión se inicia con la descripción del procedimiento propuesto por uno de los equipos (la elección del equipo expositor se realiza ese mismo día al azar).
- En el transcurso de la semana cada equipo desarrolla su procedimiento realizando las modificaciones que considera pertinentes para dar respuesta a la pregunta generadora.
- La información generada durante la semana se resume en hojas de trabajo, diseñadas *ad hoc*, que contienen cinco secciones principales: descripción del procedimiento, errores, aciertos y modificaciones, resultados experimentales, respuesta y Ve epistemológica. Cada sección está delimitada y los alumnos solo pueden usar el espacio asignado.
- La última sesión se dedica a la discusión, por parte de otro equipo, del desarrollo, los errores y los aciertos que se enfrentaron, así como de la respuesta a la que se llegó. La discusión que se hace en torno a la respuesta se realiza mediante la construcción de una Ve epistemológica que se presenta al grupo a través de acetatos.

TABLA 1 Prácticas de laboratorio

TEMA DE ESTUDIO	PREGUNTA GENERADORA
Mezclas	¿Cuántas sustancias diferentes puedes identificar dentro de una Coca Cola?
Cromatografía	¿Qué colores primarios se combinan para obtener los colores de los plumones comerciales?
Conservación de la materia	¿Se conserva la masa cuando reacciona una pastilla de alkaseltzer al disolverse en agua?
El polímero sediento	¿Qué cantidad de agua puede absorber el polímero poliacríato que contienen los pañales desechables?
Densidad	¿Cuál es el orden, según su densidad experimental, de las siguientes sustancias? Agua, cloroformo, cobre, hexano, bióxido de carbono y plomo.
Comportamiento de las sustancias gaseosas	¿Qué relación existe entre el volumen que ocupa un gas y la presión que se ejerce sobre éste? ¿Qué relación existe entre el volumen que ocupa un gas y la temperatura a la que se encuentra?
Estimación de la cantidad de ácido cítrico contenida en diferentes frutas.	¿Qué fruta contiene mayor cantidad de ácido cítrico?
El pop de las palomitas de maíz	¿Qué presión hay dentro de una palomita de maíz cuando esta se revienta?
Intercambio de calor	¿Cuál es la energía necesaria para fundir un hielo?
Moles de frijoles	De una serie de semillas diferentes (frijol, lenteja, arroz) determina ¿cuál es la masa relativa promedio de cada una respecto a la más ligera? Calcula y determina experimentalmente ¿cuántas semillas hay en una masa relativa (g) de cada semilla?
Reacciones estequiométricas	¿Cuántos gramos de bicarbonato de sodio deben reaccionar para obtener 10 gramos de bióxido de carbono? en la siguiente reacción: $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ Se requiere preparar 10 gramos de bióxido de carbono con la siguiente reacción: $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ¿Cuál es el rendimiento de la reacción con los reactivos del laboratorio de química básica?
Reacciones químicas	¿Qué cambios pueden observarse cuando se lleva a cabo una reacción química? ¿En cuál de las reacciones se desprende más energía?
Volumen de una disolución	Al formarse una disolución acuosa el volumen de la mezcla : Corresponde: <ul style="list-style-type: none"> • a la suma de los volúmenes que ocupan soluto y disolvente por separado. • Es igual al del disolvente puro. • Depende del soluto que se utilice.

- **Proyecto de investigación teórico-práctico.** Sobre un tema establecido (Síntesis de un material) equipos de cuatro alumnos (escogidos por los profesores del grupo de acuerdo con las calificaciones que obtuvieron en el examen diagnóstico) llevaron a cabo una investigación teórica dividida en cuatro partes: (pregunta, antecedentes históricos, cuantificación y aplicaciones). Una vez por periodo, uno de los alumnos de cada equipo presentó los resultados de la parte correspondiente de la investigación al resto del grupo. Cada equipo entregó además, la parte escrita de su investigación, (con la bibliografía pertinente) en un máximo de tres páginas, el día de su presentación oral. Además los mismos alumnos integraron el comité editorial del *Boletín de Avances de Proyectos de Investigación* (breve documento en donde

se incluyen resúmenes de todos los trabajos además de la bibliografía pertinente, que de esta manera es conocida por todo el grupo) el cual se repartió entre todos los alumnos del grupo una semana antes de la presentación de los trabajos. La presentación de los proyectos es evaluada por todos los alumnos de acuerdo a un registro de aprendizaje. El *Boletín de Avances de Proyectos de Investigación* y el trabajo escrito fue evaluado por los profesores de acuerdo con un registro predeterminado. La calificación final por periodo para esta actividad es el promedio entre la calificación otorgada por todos los alumnos y la que adjudicaron los profesores. En los exámenes parciales se consideró la información presentada públicamente de algunos de los proyectos. Esta actividad continúa en la línea de discutir con los alumnos cómo se produce y se valida el quehacer científico (Chamizo, 2001).

Por otro lado, a partir de la mitad del curso los diferentes equipos presentaron a sus profesores sus anteproyectos de trabajo experimental, para lo cual elaboraron una pregunta relativa a su tema. Los anteproyectos fueron discutidos y al final, en las últimas dos semanas del curso, se llevó a cabo en el laboratorio la parte práctica del proyecto y los resultados (empleando una *Ve epistemológica*) se presentaron en el mismo en una sesión de carteles (Figura 1).

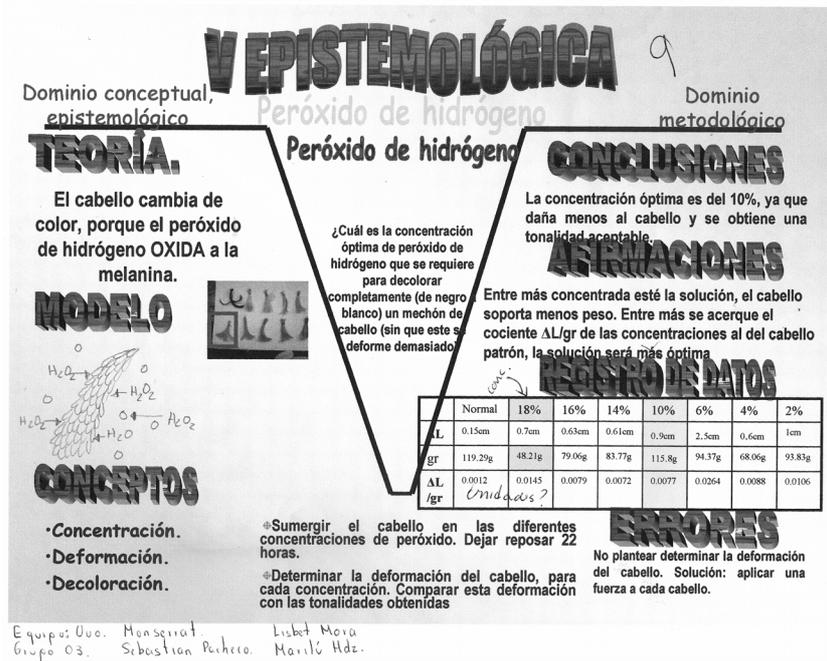


Figura 1

Ve epistemológica para el proyecto de investigación práctica que responde a la pregunta ¿cuál es la concentración óptima de peróxido de hidrógeno para decolorar completamente un mechón de cabello?

- **Taller de lectura.** En esta parte del curso los alumnos aprendieron a construir mapas conceptuales. Adicionalmente se les entregó a todos una parte del documento *La lectoescritura como herramienta* (Alegría 2003) en donde se discuten y ejemplifican diferentes géneros discursivos (el resumen, el comentario, el ensayo, etc) Para aplicar lo aprendido en este documento cada alumno entregó dos veces a lo largo del curso una noticia de periódico (del año 2003) relacionada (de manera explícita) con la química, identificando las palabras desconocidas, un comentario sobre la misma y su ficha hemerográfica. Adicionalmente los alumnos leyeron un artículo de investigación recién publicado (Noyola M., Hernández Z “Síntesis y actividad relajante en músculo liso vascular de una serie de 1,4-dihidropiridinas análogas de nicardipina” *Revista de la Sociedad Química de México* 2003, 47, 34-37) prepararon un resumen y lo discutimos en clase, enfatizando las características de la información allí presentada, así como su relación con los temas de modelos, lenguaje y mol, discutidos en la parte teórica del curso. Finalmente se leyeron y discutieron cuatro artículos de divulgación de la revista *¿cómoves?*

Finalmente hay que hacer notar que a lo largo de todo el curso se utilizó una página web para mantener una comunicación constante con los alumnos. Dicha página contenía la siguiente información:

- Los criterios generales del trabajo en el aula
- El calendario de actividades
- Las tareas para la parte teórica
- Las preguntas para realizar las prácticas de laboratorio
- Las calificaciones

Evaluación.

Además de las indicadas anteriormente se les solicito que todos los trabajos firmados, exámenes, noticias, prácticas, mapas conceptuales, etc se reunieran en un portafolios individual que se entregó el día del examen final. Para su evaluación se consideraron la cantidad de documentos firmados y la calidad de la presentación. Cada portafolios indicaba el número de documentos así como cuales fueron el mejor y el peor con su consiguiente justificación.

VI Resultados

En la parte teórica logramos discutir con más tiempo algunas de las ideas previas de los estudiantes, asunto que está perfectamente documentado en la literatura especializada (Barker, 2000). El que las actividades se llevaran a cabo en una modalidad de taller

permitió una intensa y estrecha relación entre los estudiantes que les fue permitiendo adueñarse de su propio aprendizaje. No obstante y a pesar de la cálida relación establecida entre los docentes y los alumnos quedó claro desde muy pronto que la capacidad de estudio de los estudiantes (muchos de ellos trabajan además de asistir a la Universidad) y sus inequívocas carencias académicas retrasaban el avance sobre temas “que ya deberían saber”. Al interior del grupo se reconocieron al menos dos grupos más, “los que podían avanzar y realizar las tareas” y los que simplemente no podían (fundamentalmente por las razones antes enunciadas). Sin embargo, hubo una pequeña homogeneización en los aspectos más básicos como, por ejemplo, la naturaleza corpuscular de las sustancias, el concepto de mol, la idea de que las reacciones químicas son procesos que ocurren en el tiempo y la idea de que el conocimiento científico se genera mediante modelos propuestos por los seres humanos. En el rubro de habilidades, se avanzó en dos aspectos: la disciplina escolar (entregar a tiempo, realizar las tareas, asistir a clases, etc.) y el uso y aplicación de razones y proporciones a los cálculos químicos.

En el laboratorio la respuesta de los alumnos a esta estrategia de trabajo fue en general muy positiva, sin embargo la adaptación no fue sencilla. La mayoría de los alumnos recién había salido del bachillerato y su experiencia en el laboratorio de química se limitaba a seguir las instrucciones de un manual de prácticas. Así, el primer obstáculo que se presentó en esta estrategia fue la resistencia de los alumnos para analizar la pregunta y proponer “lo que había que hacer” para responderla. Durante las primeras prácticas la mayoría de los equipos optaba por copiar total o parcialmente el procedimiento expuesto en la primera sesión, abandonando sin miramientos su propuesta. Los procedimientos estuvieron cada vez mejor fundamentados y los alumnos adquirieron confianza para desarrollar y modificar sus propias propuestas.

Las modificaciones que se observan, con el tiempo, en la sección destinada a describir los errores y los aciertos resultan también interesantes. En las primeras prácticas los alumnos sólo destacaban aciertos, generalmente obvios, tratando de minimizar los errores cometidos. Las discusiones grupales permitieron que los alumnos reconocieran en la detección de los errores una herramienta útil para decidir modificaciones en el procedimiento. Por otra parte la limitación en el espacio de cada sección ayudó a que los alumnos emplearan gráficos, tablas y/o esquemas para describir su trabajo de forma clara y breve.

La discusión de la respuesta mediante la construcción de Ve epistemológicas permitió que los alumnos reflexionaran sobre la relación que existe entre lo que se piensa y lo que se hace. Sin embargo se enfrentaron varios problemas para usar este dispositivo principalmente en el área destinada al dominio conceptual y epistemológico: por ejemplo a la solicitud de usar un modelo para explicar un hecho los alumnos tendían a esquematizar lo que observaban y sólo después de varias discusiones empezaron a usar modelos (como puntitos) para explicar lo que pensaban que pasaba pero que no podían ver. Así mismo existe una confusión sobre los conceptos de teoría, ley y principio.

El uso de la página web permitió tener una comunicación fluida con los alumnos. Las reglas de operación fueron públicas y se podían consultar en todo momento. El material

fue accesible durante todo el semestre. Los resultados y calificaciones se pudieron mostrar con toda oportunidad.

VII Conclusiones

Lo valioso de este tipo de curso fue la integración e implementación, en el modelo propuesto, de varios aspectos resultantes de la investigación educativa en ciencias que se han estado discutiendo y llevando a cabo recientemente:

- Establecer condiciones para que el estudiante construya eficientemente su conocimiento en vez de sólo “enseñar”.
- Escoger los conceptos clave y dar una primera explicación lo más didáctica posible (exposiciones de los profesores a partir del conocimiento de las ideas previas).
- Diseñar actividades que les permita a los estudiantes operar esos conceptos (ejercicios en clase y tareas similares).
- En lo posible, diseñar actividades con orden creciente de nivel de dificultad (ejercicios en clase y tareas similares).
- Diseñar actividades que les permita conectar los conceptos abstractos con aspectos de la vida cotidiana (las noticias, los *qué es y para qué sirve*, el proyecto de investigación teórico-práctico).
- Identificar a la lectura como una forma fundamental de “aprender”.
- Diseñar actividades que les permita *hacer ciencia* al menos a nivel escolar (el laboratorio con sus problemas abiertos y el proyecto de investigación teórico-práctico)

A pesar de que los resultados obtenidos, medidos a través de los exámenes departamentales que únicamente apelan a identificar conocimientos no son concluyentes, las modificaciones planteadas en este modelo cuestionan de manera importante el quehacer “tradicional” en el aula y en el que estos alumnos fracasan. Sin embargo y por ejemplo, el hecho de que los alumnos propongan el procedimiento a seguir para responder la pregunta generadora les permite tener desde el inicio una idea clara del objetivo que persiguen e incluso pueden proponer y decidir modificaciones conforme lo consideran necesario...¡tienen el control!, algo pocas veces experimentado por ellos.

VIII Referencias

- Alegría de la Colina M. *La lectoescritura como herramienta. Leamos la ciencia para todos. Manual*. Fondo de Cultura económica, México 2003.
- Barker V., *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*, A report prepared for the Royal Society of Chemistry, London 2000.
- Chamizo J.A., Hernández G., "Construcción de preguntas, la Ve epistemológica y examen ecléctico individualizado" *Educación Química*, **2000**, 11, 132-137
- Chamizo J.A., "La enseñanza de las ciencias para estudiantes de arte", *Enseñanza de las ciencias*, Memorias **2001**, 6, 211.
- Chamizo J.A., "Towards the essence of chemistry", *Proceedings 17th International Conference on Chemical Education*, Beijing, 2002.
- Garriz A., Gasque L., Hernández G., Martínez A., El mol: un concepto evasivo. Una estrategia didáctica para enseñarlo, por publicarse en *Alambique*
- Justi R., Gilbert J.K., Models and modelling in chemical education en Gilbert J.K. et al (eds) *Chemical education: Towards Research-based practice*, Kluwer Academic Publishers, Dordrech, 2002.
- Keele.ac.uk./depts./ch/groups/chemed/periodic.html
- Spencer J., Bodner G., Rickard L.H, *Química. Estructura y dinámica* CECSA, México, 2000
- van Berkel, de Vos W., Verdonk A.H. and Pilot A., , Normal Science education and its dangers. The case of school chemistry" *Science & Education*, **2000**, 9, 123-159.

