

Sección de intercambio de experiencias sobre química experimental y su enseñanza.

¿Se aprende en el laboratorio?

Mercedes Llano,¹ Graciela Müller,¹ Martín Hernández Luna,² Tomás Miklos² y Walter Murguía³

Abstract (¿Do students learn in the lab?)

An evaluation of the learning achieved by first-term college students in the General Chemistry laboratory is presented. Experimental frameworks allow students to discover knowledge on their own through problem solving.

Introducción

Ante la importancia y necesidad de revisar la actividad experimental en la Facultad de Química de la UNAM, en 1991 se establecieron los lineamientos de la llamada "Reforma de la Enseñanza Experimental" (Hernández-Luna, 1994), bajo cuyo enfoque se le asigna mayor relevancia y responsabilidad pedagógica al trabajo realizado en el laboratorio.

Frente a las diferentes situaciones de cambio curricular nunca debe perderse la esencia del objetivo educacional: mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la química. Sin embargo aunque todos los cambios persiguen esta finalidad, siempre originan una resistencia en su aplicación y si no se realiza una evaluación a fondo de las experiencias previas, se ocasionan patrones de cambio discontinuos. Por todo esto, el Proyecto de Reforma de la Enseñanza Experimental ha tratado de rescatar todo lo aprendido en la evolución previa de la enseñanza experimental para adecuarlo al nuevo modelo propuesto (Müller, 1995).

Fundamentación

El aprendizaje de la química se produce a través de dos vías complementarias entre sí: la enseñanza de la teoría y el aprendizaje derivado de la práctica. Desde un acercamiento epistemológico sencillo, la enseñanza de la teoría podría corresponderse con los procesos de pensamiento de naturaleza deductiva, bajo los cuales los nuevos conocimientos se derivan de premisas aceptadas o de conocimientos precedentes mediante argumentos lógicos verdaderos.

En cambio, el aprendizaje derivado de la práctica puede hacerse corresponder a los procesos de pensamiento de naturaleza inductiva, bajo los cuales los nuevos conocimientos o saberes provienen de la reflexión sobre observaciones del entorno o de su manipulación experimental, mediante la generalización y el arribo a conclusiones en forma iterativa y evaluativa.

Considerando que los procesos de enseñanza-aprendizaje son fenómenos de naturaleza compleja, en los cuales es difícil conocer con precisión la influencia y efecto de los múltiples factores que intervienen en ellos, se optó por interpretarlos en función de sus resultados. De esta manera es posible determinar la eficacia y la eficiencia de estos procesos en función de comparar, mediante indicadores adecuados, la situación inicial con la situación final, tratando en lo posible de independizarlos de las variables exógenas (o de mantenerlas constantes) (Miklos, 1993).

Por tanto, se consideró pertinente acompañar la incorporación de esta reforma con un proceso paralelo de evaluación del aprendizaje, expresamente diseñado para la enseñanza experimental de la química, sin pretender la comparación entre estrategias epistemológicas o entre métodos experimentales.

El Proyecto de Reforma de la Enseñanza Experimental define el papel a desempeñar por cada uno de los integrantes del proceso enseñanza-aprendizaje y la necesidad de seleccionar en cada asignatura aquellos conceptos que deben aprenderse mediante la experimentación, con el fin de elaborar guiones que planteen al alumno un problema cuya resolución experimental le permita apropiarse del concepto mediante un proceso inductivo.

Los guiones se diseñan con base en los siguientes lineamientos:

- que el estudiante descubra por sí mismo el objeto preciso del conocimiento, a través de la resolución de un problema propuesto.
- que se garantice que los fenómenos se muestren al estudiante en forma natural, mediante el adecuado control de las variables involucradas.
- que el estudiante relacione en sus justos términos la realidad concreta con su representación en términos de leyes o modelos.

¹ Facultad de Química, UNAM, México, D.F. 04510

² Secretaría de Educación Pública

³ Alumno de la Facultad de Química, UNAM

Recibido: 7 de agosto de 1997;

Aceptado: 28 de septiembre de 1997.

Tabla de datos experimentales

Vaso #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mL (reactivo A)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
mL (reactivo B)	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
g (papel)												
g (papel + precipitado)												
g (precipitado)												

Reactivo A: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ Reactivo B: K_2CrO_4

- la selección de los conceptos a ser tratados en forma experimental debe jerarquizarse en función de su importancia y valor formativo.

En la asignatura Química General se realizó la selección de los conceptos básicos bajo la consideración de que el tema central del curso es la Estequiometría, tanto por su importancia a través de toda la carrera y del ejercicio profesional, como por la dificultad que implica su comprensión, y se decidió que el concepto de "reactivo limitante" era uno de los que debía estudiarse por la vía experimental, por lo que se elaboró el guión correspondiente y se evaluó el aprendizaje logrado con su aplicación.

Para el desarrollo del guión se realizó una evaluación formativa (Chadwick, 1987) de los materiales impresos de apoyo elaborados para este tema durante los dos últimas décadas, con objeto de tener presentes las bondades y evitar los errores de cada uno de ellos (Domínguez, 1994; UNESCO-Facultad de Química, 1974-1993). El guión resultante se inserta a continuación.

Guión experimental "Reactivo limitante" Guión para el alumno

Problema

El problema planteado puede resolverse únicamente si se lleva a cabo la experimentación propuesta, por lo que no se informan al alumno las concentraciones de las disoluciones utilizadas sino hasta que él reporte las masas obtenidas de precipitado. Su enunciado es el siguiente:

¿Qué reactivo actúa como reactivo limitante en los diferentes ensayos con la siguiente reacción química?



Procedimiento experimental

Se indican al alumno los pasos a seguir para obtener los resultados experimentales que se requieren para llegar a conclusiones adecuadas, incluyendo las técnicas de manipulación, filtración y secado de los precipitados obtenidos con los diferentes volúmenes de las disoluciones propuestas en la tabla de datos experimentales, y se le solicita el trazo de la gráfica "gramos de precipitado obtenido en función de los mililitros de cromato de potasio agregado".

Cuestionario 1

Tiene la finalidad de hacer que el alumno reflexione y analice directamente los resultados experimentales obtenidos. Las respuestas a este cuestionario deben hacerle ver la necesidad de repetir el experimento hasta estar completamente seguro de que sus resultados experimentales son los adecuados.

- ¿Qué relación se observa entre el volumen de reactivo B agregado y la masa de precipitado obtenida?
- ¿Qué valor encuentra para la ordenada al origen?
- ¿Qué significado tiene este valor?
- ¿Se justifica que este valor sea diferente de cero?
- ¿En qué punto de la gráfica se observa un cambio de pendiente?
- ¿Estima usted que este cambio es significativo?
- ¿Qué relación se observa entre el volumen de reactivo B agregado y la masa de precipitado obtenida en los tubos 8 a 12?
- ¿Por qué después del vaso 8 que corresponde al punto 8 de la gráfica, para volúmenes cada vez mayores de reactivo B agregado, la masa de precipitado que se forma se mantiene constante?

Cálculos

Se solicitan al alumno los cálculos necesarios que le

permitan llegar a conclusiones sobre el concepto de reactivo limitante en el Cuestionario 2.

1. Con sus datos experimentales calcule el número de moles de los reactivos empleados y el número de moles de precipitado obtenido en cada caso.
2. Trace la gráfica "moles de precipitado obtenido de función del número de moles de reactivo B agregado". Recuerde que el volumen de reactivo A se mantuvo constante. Utilice la misma escala en los dos ejes.

Cuestionario 2

1. ¿Por qué razón considera usted que esta gráfica conserva la misma forma que la anterior?
2. ¿Qué valor tiene la pendiente de la primera zona de la gráfica?
3. ¿Tendría significado un valor fraccionario para esta pendiente?
4. ¿Qué significado tiene que el valor de la pendiente sea un número entero? Justifique su respuesta en función de los datos de la tabla.
5. ¿Qué significado químico tiene este valor?
6. ¿Cómo explica usted que en los puntos 8 a 12 se obtenga una recta de pendiente igual a cero?
7. ¿Cuál es el máximo número de moles de precipitado que se obtuvo?
8. ¿De qué depende este valor máximo?
9. ¿Hay alguna relación entre este valor máximo y el punto de discontinuidad que se observa en las gráficas trazadas?
10. ¿Qué conclusión se obtiene al observar los valores correspondientes al número de moles de los reactivos A y B y el de moles de precipitado en el punto de discontinuidad de las gráficas?
11. Escriba sus conclusiones y una definición del concepto de reactivo limitante.

Consideraciones para el profesor

Objetivo académico

El guión tiene como objetivo académico que a través del trabajo experimental el alumno infiera el concepto de reactivo limitante y sea capaz de aplicarlo a

situaciones diferentes a la planteada en él.

Condiciones de experimentación

El alumno debe trabajar con disoluciones valoradas, 0.1 M de cromato de potasio y 0.1 M de nitrato de plomo a la cual se le deben agregar aproximadamente 0.5 mL de ácido acético antes del aforo a un litro. De esta manera se obtienen masas de precipitado entre 0.032 y 0.485 gramos que son de una magnitud adecuada para ser medidas y manipuladas por los alumnos, a quienes se les puede aceptar un error máximo de 10%.

La adición del acético es importante para evitar la hidrólisis en la que se producen hidroxocompuestos de plomo, lo que afectaría la precipitación cuantitativa del cromato de plomo. Los precipitados obtenidos se deben secar hasta obtener un peso constante.

Las masas obtenidas serán la base para los cálculos, el análisis gráfico y la resolución de los cuestionarios que permitirán al alumno alcanzar el concepto en estudio. Errores en la determinación de las masas ocasionarían errores ajenos a la interacción entre el alumno y el fenómeno, lo que repercutiría en el logro del objetivo académico.

Evaluación del aprendizaje

Con objeto de evaluar el aprendizaje logrado con la aplicación del guión desarrollado, se estableció un proceso de evaluación fundamentado en el desarrollo y aplicación de pruebas de conocimientos con referencia a criterios (Popham, 1973; Wolf, 1990).

Se elaboró un cuestionario de evaluación con cuatro grandes apartados y un total de 16 preguntas, todas ellas disímbolas y con un peso relativo diferencial. La revisión de las respuestas y la asignación de puntos obedeció a criterios acordados previamente, y controlados mediante una intensa interacción crítica.

Los cuatro aspectos evaluados fueron: conocimientos previos (en principio, requeridos para la comprensión y razonamiento de los aspectos implícitos en el guión); conocimientos básicos (requerimientos específicos de química para comprender el fenómeno); conocimientos específicos (aquellos previstos como aprendizaje provocado por el desarrollo razonado del guión), otros conocimientos (de naturaleza diversa, principalmente relacionada con la comprensión del lenguaje y con la capacidad de expresión).

En la Tabla 1 se muestran el número de pregun-

Tabla 1. Estructura del cuestionario de evaluación.

Conocimientos	Previos	Básicos	Específicos	Otros
Valor de la sección	20	15	50	15
Número de Preguntas	4	3	4	5
Valor por pregunta	5	5	12.5	3

Tabla 2. Resultados de los instrumentos estadísticos aplicados.

Apartado de conocimientos	Spearman Rank (%)	"T" Mc Nemar	Niv. signif. $\alpha = 0.05$
Previos	43.70	3.229	rechazo ³
Básicos	38.33	2.7528	rechazo
Específicos	27.56	1.9018	rechazo
Otros	31.23	2.1807	rechazo
Global	36.94	2.6369	rechazo

tas de cada bloque y el peso de cada uno en la calificación global.

Para medir el efecto de la enseñanza experimental en los resultados obtenidos se utilizaron dos instrumentos: el estadístico de independencia "T" de McNemar,¹ y el estadístico de correlación de Spearman Rank² (Novick, 1994; Zellner, 1994).

Dada la independencia de los apartados y de los resultados, se encontró la confiabilidad máxima para los conocimientos específicos y globales. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2 y permiten asegurar que sí existe efecto de la enseñanza experimental y que es independiente de la aplicación de la misma prueba.

Aplicaciones del instrumento de evaluación

Con el fin de validar la eficacia del guión, el instrumento de evaluación se aplicó antes y después de realizar el experimento a alumnos con diferentes antecedentes académicos: en el primer semestre de 1996 a 53 alumnos SESA,⁴ y además a 50 alumnos testigo después de trabajar en forma tradicional; en el primer semestre de 1997 a 288 alumnos: 106 SESA,⁴ 133 regulares y 49 alumnos SADAPI.⁴

¹ Es una prueba de la significancia del cambio en el estado de aprobado o reprobado causado por la aplicación del guión de enseñanza experimental, en la que cada alumno es su propio control.

² Se utiliza para medir la existencia de correlación entre los resultados obtenidos antes y después de la aplicación del guión bajo los lineamientos de la enseñanza experimental propuesta, con el fin de evitar la generación de correlaciones falsas o aparentes.

³ Se refiere al rechazo de la hipótesis de la no existencia de efecto de las enseñanzas experimental en los resultados obtenidos, con una probabilidad de error del 5%.

⁴ En la Facultad de Química los grupos de nuevo ingreso se conforman de acuerdo con los antecedentes académicos de los alumnos; SESA (grupo de alto rendimiento académico), REGULARES (grupos con alumnos promedio) y SADAPI (grupos de alumnos con deficiencias académicas).

Tabla 3. Resultados obtenidos por el grupo experimental en el primer semestre de 1996.

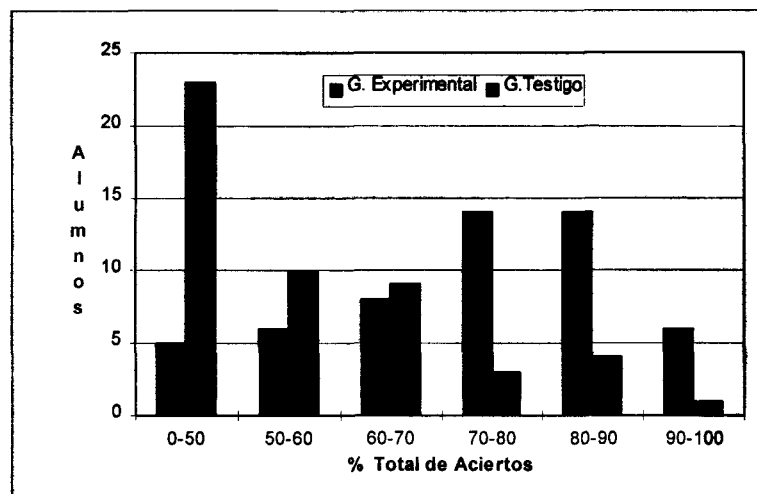
	Antes	Después
Calificación promedio	48.66	73.94
Desviación estándar	16.50	14.22
Desviación/promedio	0.34	0.19

Primera Aplicación. Resultados del grupo experimental del semestre 1996-1

1. En cuanto a aciertos totales y una vez depurados los datos para aplicar pruebas de análisis no paramétrico y lograr mejor equivalencia entre ambas mediciones, se tiene una diferencia de 25.28%, o sea un avance de 51.95% sobre los primeros resultados. Adicionalmente las desviaciones estándares correspondientes pasaron de 16.50 a 14.22, o sea de una relación desviación/promedio de 0.34 a una de 0.19, lo que implica una reducción muy importante en la dispersión de los resultados y por tanto un efecto claramente homogeneizador del aprendizaje provocado por el guión experimental (tabla 3).
2. En cuanto a calificaciones y por lo que toca a los apartados de conocimiento de los aspectos evaluados, se observa un incremento considerable en los de carácter específico de la práctica al aumentar en 86% de una a otra aplicación (tabla 4), muy superior al de los otros apartados. Ello no únicamente prueba el efecto positivo de la práctica, sobre todo en conocimientos específicos de reactivo limitante, sino que por ese mismo diferencial, muestra también que el efecto se debe muy probablemente a la experimentación reflexionada, sobre todo habiendo reducido en lo posible los efectos provenientes de la aplicación de la misma batería de preguntas evaluativas.

Tabla 4. Resultados del primer semestre de 1996 por bloque de conocimiento.

Conocimientos	Antes	Después	Diferencia	
			neta	%
Previos	60.10	74.15	14.05	23
Básicos	56.26	78.20	21.94	39
Específicos	38.48	71.68	33.20	86
Otros	59.73	76.86	17.13	29



Gráfica 1. Resultados comparativos del semestre 1996-1.

Como precaución, en un grupo independiente se logró aplicar dos veces la misma batería de preguntas con un lapso intermedio de dos semanas y sin mediar el desarrollo del guión. Gracias a ello se probó la inexistencia del efecto memoria o de aprendizaje por la sola aplicación de cuestionarios.

- En la gráfica 1 se comparan los resultados obtenidos por el grupo experimental y el grupo tradicional en el primer semestre de 1996, después de haber realizado el experimento. Se observa una mayor aprobación en el grupo que utilizó el guión propuesto.

Segunda aplicación

Para esta aplicación, además de haber incrementado el número de grupos y el número de alumnos involucrados también se logró contemplar la estratificación entre los diferentes tipos de alumnos de nuevo ingreso que actualmente se hace en la Facultad en función de sus antecedentes académicos.

Se realizaron las pruebas correspondientes y se puede asegurar que el universo de los alumnos evaluados tiene una estructura estadística similar y por ende representativa del universo de los alumnos de nuevo ingreso, particularmente para los grupos SESA y REGULARES.

En esta segunda aplicación fueron evaluados 288 alumnos del total de 981 de nuevo ingreso. Por razones esencialmente logísticas (el ciclo de trabajo de los grupos SADAPI es el doble de tiempo calendario que los demás, ya que cubren los cursos del primer semestre en un año lectivo) se muestran y se comen-

tan únicamente los resultados correspondientes a los alumnos SESA y REGULARES.

- Para el caso de los alumnos SESA, el promedio de las calificaciones fue de 21.73% antes de la experiencia y 63.03% después de ésta, o sea un diferencial de 41.30% lo que equivale a un mejoramiento *ex-post* de 190%. Las desviaciones estándares correspondientes son 23.95 y 23.74 respectivamente, o sea una relación desviación estándar/promedio de 1.10 y 0.38, respectivamente, lo que implica un claro efecto homogeneizador del conocimiento.
- En cuanto a los alumnos REGULARES, los promedios *ex-post* pasaron de 6.59% a 33.12%, o sea un diferencial de 26.53%, lo que equivale a un mejoramiento *ex-post* de 357%. Las desviaciones estándares correspondientes son 15.19 y 23.41 respectivamente, lo que hace que la relación desviación estándar/promedio pase de 2.30 a 0.71, lo cual también implica un fuerte impacto homogeneizador del conocimiento.
- Ahora bien, bajo el tradicional criterio de que la aprobación implica una calificación mayor o igual a 60%, el número de los alumnos SESA aprobados pasó de 7 a 73 (sobre un total de 107), o sea que del 6.5% de aprobados pasaron a 68.2%. En el caso de los alumnos REGULARES, el número de aprobados pasó de 1 a 23, sobre un total de 133 alumnos, o sea de 0.75% a 17.29%. Estos datos pueden observarse en la tabla 5.

Conclusiones

La aplicación del guión elaborado bajo los lineamientos del Proyecto de Reforma de la Enseñanza Experimental permitió que los alumnos "aprendieran" el concepto de reactivo limitante a través del análisis y discusión de los resultados obtenidos expe-

Tabla 5. Resultados obtenidos en la aplicación del instrumento en el primer semestre de 1997.

	SESA		REGULARES	
	Antes	Después	Antes	Después
Promedio	21.73	63.03	6.59	33.12
Desv. estándar	23.95	23.74	15.19	23.41
Aprobados	7	73	1	23
Reprobados	100	34	132	110
# alumnos	107	107	133	133



rimentalmente, y no únicamente que comprobaran la teoría y/o adquirieran habilidades psicomotrices.

De los resultados que fueron obtenidos durante las dos aplicaciones, pero particularmente de la segunda, cabe concluir sin lugar a dudas que los conocimientos sobre el rubro específico de reactivo limitante que los alumnos mostraron antes de desarrollar la experiencia o práctica correspondiente, se vieron contundentemente mejorados para cuando ésta había ya tenido lugar. Cabe presumir que este incremento de conocimiento se debió particularmente al aprendizaje derivado tanto de su desarrollo como de la reflexión inductiva, o cuando mucho inductivo-deductiva correspondiente.

Por otra parte, dadas las diferenciales cognoscitivas encontradas por la evaluación, cabe también presumir la multiplicidad de causales en el aprendizaje que complementan al proceso mismo de enseñanza.

Todo ello invita a:

- Reforzar, ampliar y perfeccionar el Programa de Reforma de la Enseñanza Experimental.
- Complementarlo con el sistema previsto de evaluación del aprendizaje.
- Desarrollar el sistema pertinente de evaluación de la enseñanza.
- Inducir una cultura de evaluación integral y de la evaluación comparada.
- Inducir en otras muchas instancias abocadas a la educación, la cultura de la evaluación como estrategia de aprendizaje y de desarrollo. ▣

Bibliografía

- Chadwick, C., *Tecnología educacional para el docente*, Paidós, Buenos Aires, 1987.
- Domínguez, P.A., *et al.*, "Evaluación de materiales didácticos de apoyo", en *Memorias del III Seminario Regional QUIBASI*, 1[1] 100-108, 1994.
- Hernández Luna, M., Llano, L.M., "Propuesta de Reforma de la Enseñanza Experimental", *Revista IMIQ*, 7[xxxv], 5-8, 1994.
- Llano, M., Müller, G., "Avances de la Reforma de la Enseñanza Experimental en Química General", *ALDEQ*, 7[III] 326-331, 1996.
- Miklos, T., Tello, M., *Planeación prospectiva*, Noriega Editores, México, 1993.
- Müller, G., *et al.* "La enseñanza experimental de la química básica en la Facultad de Química de la UNAM: Antecedentes históricos", *ALDEQ*, 1995.
- Novick, Marvin R., *Statistical Methods for Educational and Psychological Research*, McGraw-Hill, 1994.
- Popham, W.J., *Criterion-Referenced Measurement. An introduction*, Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.
- UNESCO-Facultad de Química, *Prácticas sobre el tema de reactivo limitante de 1974 a 1993*.
- Wolf, R.M., "Evaluation in Education" en *Foundations of Competency and Program Review*, Praeger Publishers, EUA, 1990.
- Zellner, A., *Basic Issues in Statistics*, Chicago University Press, Chicago, EUA, 1994.