

La pedagogía en la educación química.

La experiencia al implementar un modelo didáctico en la enseñanza de la química en el laboratorio

ABSTRACT (The pedagogy concerning chemical education. The experience by means of a teaching experimental procedure)

In order to improve chemical education a teaching procedure has been developed, implemented and evaluated, that offers a set of strategies to assist student learning difficulties, in order to promote student's conceptual change. This teaching procedure also proposes a course of action that guides instruction and invites the professor to increase his/her teaching abilities and improve chemical education.

To test it a general chemistry lab manual has been elaborated, using microscale techniques. In order to assess its efficacy, a cuasiexperimental study has been carried out to examine student academic efficiency and interest in chemistry topics. Analysis resulted in statistically-proven increased grades as compared to those using the so-called traditional procedure.

KEY WORDS Enseñanza química, investigación educativa química, pedagogía química.

B. Virginia Cervantes-Nemer,¹ Javier Loredó-Enríquez,² María del Carmen Doria-Serrano,¹ Arturo Fregoso-Infante¹

Introducción

La educación superior mexicana opera en un nuevo escenario de competencia mundial y enfrenta el desafío de fortalecer sus objetivos fundamentales. La ANUIES (ANUIES, 2000) señala que México requiere de una profunda transformación de la educación superior. La innovación deberá tener como eje una nueva visión y un nuevo paradigma de formación de los estudiantes, entre cuyos elementos se encuentra la incorporación de nuevos métodos y modelos educativos que propicien el trabajo grupal, la integración de comunidades de aprendizaje y el desarrollo integral del estudiante.

Con el deseo de contribuir a mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la química en la Universidad Iberoamericana (UIA) se contempló el diseño, desarrollo, implementación y evaluación de un modelo didáctico que es un apoyo para el docente y reúne un conjunto de estrategias encaminadas a superar las principales dificultades del estudiante en esta disciplina, como son la existencia de ideas previas a los conceptos científicos y la falta de interés en la materia (Cervantes, 2006).

El modelo didáctico

Este modelo se diseñó considerando que uno de los principales problemas de la enseñanza de las ciencias es la existencia en los alumnos de concepciones alternativas o ideas previas a los conceptos científicos, siendo necesaria su transformación (Garritz, 2001; Flores, 2004; Bello, 2004; Gómez-Crespo, Pozo y Gutiérrez-Julián, 2004). Las concepciones alternativas son ideas intuitivas fuertemente arraigadas con las que los estudiantes llegan a la escuela; dado que éstas interfieren en la adquisición del conocimiento científico es preciso modificarlas, es decir, lograr un cambio conceptual. Debido a la complejidad que representa el cambio conceptual no se cuenta aún con una teoría que satisfaga todos sus interrogantes (Flores, 2004). Se asume que las dificultades en la comprensión y aprendizaje de la ciencia se deben en buena medida a que el conocimiento científico que se pretende enseñar resulta contrario a muchas de las creencias que los seres humanos tenemos sobre el mundo (Gómez-Crespo, Pozo y Gutiérrez-Julián, 2004).

El cambio conceptual es ampliamente estudiado y la investigación muestra que hay una gran diversidad de posturas en torno a él (Rodríguez-Moneo, 2003; en Bello, 2004, Flores, 2004). Existen posiciones radicales que proponen la sustitución de las ideas previas por los conceptos científicos. Otras conciben el cambio conceptual como una modificación gradual y parcial de las ideas de los alumnos, que al ser un proceso complejo, no lineal y largo, no se puede lograr en un ciclo escolar (Bello, 2004),

Carey (citado por Flores, 2004) reconoce que los procesos de cambio conceptual no tienen todos el mismo estatus e im-

¹ Centro Mexicano de Química en Microescala. Depto. de Ingeniería y Ciencias Químicas, Universidad Iberoamericana. Prol. Reforma 880, Del. Álvaro Obregón, 01210, México, DF.

Correo electrónico: arturo.fregoso@uia.mx

² Departamento de Educación, Universidad Iberoamericana.

Correo electrónico: javier.loredo@uia.mx

Recibido: 7 de diciembre de 2006; **aceptado:** 14 de febrero de 2008.

plican distintos niveles de transformación, lo que nos permite pensar que algunos procesos de cambio conceptual toman más tiempo, y otros menos complejos podrían lograrse en un lapso de tiempo más corto.

Dentro de las estrategias de enseñanza que se han diseñado para promover el cambio conceptual está el llamado conflicto cognitivo, en el que se trata de partir de las concepciones alternativas de los alumnos para lograr un cambio conceptual al confrontarlas con situaciones conflictivas (Pozo y Gómez Crespo, 2001). A pesar de que en ocasiones se duda de esta estrategia porque el estudiante tiende a modificar la información recibida, más que aceptar la contradicción y revisar sus esquemas de pensamiento, consideramos que puede existir la posibilidad de lograr cierto nivel de transformación de las ideas previas del estudiante al propiciar su confrontación.

Es indudable el valor que tiene la investigación en la enseñanza de las ciencias y la opinión de los diversos autores para orientar adecuadamente el desarrollo de estrategias de enseñanza, pero también es necesario considerar la propia experiencia docente cuando se efectúa su diseño; es inevitable que ésta influya en ello. En la práctica cotidiana algunos profesores hemos utilizado de manera intuitiva ciertas estrategias de enseñanza encaminadas a mostrar al estudiante la insuficiencia de algunas ideas previas para tratar de explicar cierto hecho; esto nos ha permitido observar que a través de la enseñanza los estudiantes confrontan y transforman tales ideas previas, lo cual se ve reflejado al evaluar el aprendizaje. Estas experiencias son alentadoras y serán decisivas en la metodología de enseñanza que adopte el docente.

Se ha afirmado que para que las estrategias de cambio conceptual tengan algún efecto importante es preciso que no se apliquen como un conjunto de estrategias aisladas, sino como un enfoque de enseñanza coherente con la adquisición de conocimientos y valores, aunado a procesos de evaluación acordes con ello (Bello, 2004). Al diseñar este modelo didáctico, además de incluir estrategias encaminadas a confrontar las ideas previas del estudiante, se integraron otras que pretenden mejorar la exposición del docente facilitando la comprensión de los conceptos y haciendo significativo el aprendizaje, acercar al estudiante a la investigación científica, despertar su interés por la química y conducirlo a desarrollar actitudes de aprecio y gusto por ella. Para aplicar el modelo propuesto, resultado de un esfuerzo por mejorar la enseñanza tradicional que se venía practicando en el Laboratorio de Química General de la UIA, se elaboró el *Manual Pedagógico de Prácticas*.

El Manual Pedagógico de Prácticas

Cada una de las prácticas fue estructurada con los siguientes puntos principales:

- Actividades pre-laboratorio.
- Objetivos de la práctica.
- Información teórica.
- Parte experimental, resultados y su análisis.
- Informe de los resultados y su análisis.

- Discusión grupal de los resultados y su análisis.
- Actividades post-laboratorio.

Como actividades pre-laboratorio, antes de efectuar cada práctica y estudiar la información teórica, el alumno da respuesta a un breve cuestionario que tiene como objetivo hacer que reflexione sobre sus ideas preexistentes relacionadas con el tema a estudiar. Posteriormente estudia la información teórica del tema que desarrollará experimentalmente y la resume. Estas actividades están encaminadas a preparar al estudiante para que al realizar la práctica de laboratorio mejore la comprensión de los temas estudiados y confronte sus ideas preexistentes. A continuación se muestra, como ejemplo, el cuestionario pre-laboratorio de la práctica No. 8 "Métodos de separación y purificación de compuestos químicos". Parte D. Extracción.

IV. ACTIVIDADES PRE-LABORATORIO: TRABAJO Y EJERCICIO PRE-LABORATORIO

- Trabajo pre-laboratorio:
 - I. ANTES DE LEER LA INFORMACIÓN PARA EL ALUMNO CONTESTE LAS PREGUNTAS DEL SIGUIENTE CUESTIONARIO PRE-LABORATORIO:
 1. ¿Qué idea tiene con respecto a lo que ocurre cuando el café de grano se calienta con agua durante varios minutos?
 2. ¿Qué idea tiene con relación a qué es un extracto?
 - II. Elabore un resumen con lo más importante de la información para el alumno.

Entre los *objetivos de la práctica*: destaca la comprensión de los conceptos como una de las metas más importantes que se pretende conseguir.

La *información teórica* que se incluye en el manual pedagógico permite que el alumno relacione el tema estudiado, con conocimientos propios de su realidad; por ejemplo, en la primera página de cada una de las prácticas se muestra la imagen de algún fenómeno, hecho o proceso que tiene relación con el tema a estudiar y es propio de nuestra vida cotidiana (como la foto de la figura 1 de la práctica No. 8).

Los estudios realizados en el campo de la psicología educativa señalan que para que el aprendizaje adquiera un significado, es necesario que se relacione el tema estudiado con los conocimientos que se han adquirido a través de la experiencia diaria (Au-



Figura 1. Extracción y cristalización de azúcar de caña.



Figura 2. Vista macroscópica y representación microscópica del proceso de formación de una mezcla heterogénea de dos líquidos.

subel, Novak, y Hanesian, 1978; Díaz-Barriga y Hernández, 2002).

La *información teórica* articula el tema a estudiar con las prácticas ya realizadas, esto mejora la comprensión y permite que el alumno aplique el conocimiento adquirido. Se utilizan imágenes con la representación microscópica de los procesos estudiados y se incorporan las que muestran su vista macroscópica, facilitando la comprensión y la asociación entre ellas (Gómez-Crespo, Pozo y Gutiérrez-Julián, 2004). Estudios realizados en el campo de la enseñanza de la ciencia señalan que la presentación de imágenes durante la exposición y discusión de los temas ocasiona que el alumno mejore la comprensión de los conceptos (Russell *et al.*, 1997; Bunce, 2001). En la práctica No. 8 se presentan las imágenes mostradas en las figuras 2 y 3.

En la *parte experimental* alguno de los reactivos o materiales que utiliza el alumno corresponde a una sustancia o mezcla que está presente en su vida cotidiana permitiéndole interactuar con su realidad; por ejemplo, en la práctica No. 8 el estudiante extrae los pigmentos de la hoja de espinaca (figura 4).

En la enseñanza tradicional de las prácticas de laboratorio el alumno sigue fielmente las indicaciones dadas en la *parte experimental* hasta llegar al resultado, sin reflexionar en ello,

con escasa comprensión de los conceptos y del procedimiento. Este hecho ha sido severamente criticado (Hodson, 1994). Es necesario lograr que el estudiante interactúe física y mentalmente al efectuar la práctica (Hofstein, 2004; Hofstein y Lunetta, 2004). En la clase de laboratorio es necesario disminuir el trabajo práctico y aumentar las actividades orientadas a la reflexión, estimular el desarrollo conceptual animando a los estudiantes a que exploren y supervisen sus ideas existentes comparándolas con las aportadas por la experiencia (Hodson, 1994).

La *parte experimental* de este manual contempla varias actividades, que a continuación se describen, encaminadas a favorecer la comprensión, reflexión, análisis e interpretación de resultados. Dentro de las actividades que realiza el estudiante están la predicción del resultado, el planteamiento y comprobación de hipótesis, lo cual favorece la comprensión, el desarrollo del pensamiento —indispensable en el aprendizaje de la química (Bunce, 2001; Chandral, Treagust y Tobin, 1987; Lawson, 1985)—, la confrontación de sus preconcepciones, el interés por la realización de la práctica al sumar una situación que implica reto y despierta curiosidad por saber si la predicción fue correcta o no. A continuación se muestra el apartado de la práctica No. 8 en el que el alumno lleva a cabo una predicción.



Figura 3. Extracción simple líquido-líquido.

MÉTODOS DE SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS. PARTE D. EXTRACCIÓN
A. MISCIBILIDAD DE LÍQUIDOS

• OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO:

- ✓ Incrementar la comprensión del concepto de líquidos inmiscibles.
- ✓ **Predecir** la miscibilidad de dos pares de disolventes y verificar experimentalmente si la predicción fue correcta o no.
- ✓ **Determinar experimentalmente** la miscibilidad de tres compuestos.

PREDICCIÓN

Analice las características que se señalan en la tabla de datos 8.1, para hexano, metanol y agua. Enseguida prediga en cuál de los casos, "a" o "b", se tiene una mezcla de líquidos inmiscibles entre sí. Explique cómo lo determinó.

- a) metanol y agua
- b) metanol y hexano

Tabla de datos 8.1

Compuesto	Hexano	Metanol	Agua
Fórmula	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_4 - \text{CH}_3$	$\text{CH}_3 - \text{OH}$	H_2O
Densidad	0.66 g/mL	0.79 g/mL	1.00 g/mL
Polaridad	MENOS POLAR	MÁS POLAR →	

RESPUESTA: Mezcla de líquidos inmiscibles entre sí:

¿Cómo lo determinó?

Con frecuencia los estudiantes tienen la idea preexistente de que la formación de líquidos inmiscibles se explica con base en las diferencias de densidad, sin considerar la polaridad de los compuestos. Por tal motivo, generalmente en este ejercicio el estudiante predice que el metanol y el agua son líquidos inmiscibles, ya que tienen una diferencia mayor en densidad. Al efectuar el experimento los alumnos descubren que no es así y al relacionar el resultado con la información teórica aceptan que la formación de líquidos inmiscibles está determinada por las diferencias en la polaridad de los compuestos.

En la *parte experimental* se promueve tanto el adecuado manejo de datos y resultados a través del llenado de tablas y en algunos casos la elaboración de gráficas, como la reflexión y análisis de los mismos mediante un cuestionario que el estudiante, al ir realizando los experimentos, debe revisar, discutir y dar respuesta en equipo. En la enseñanza tradicional se le indica al estudiante efectuar esto después de la clase y de acuerdo con nuestra experiencia, la ejecución del estudiante frecuentemente es deficiente dado que en el momento de ha-

Filtración al vacío

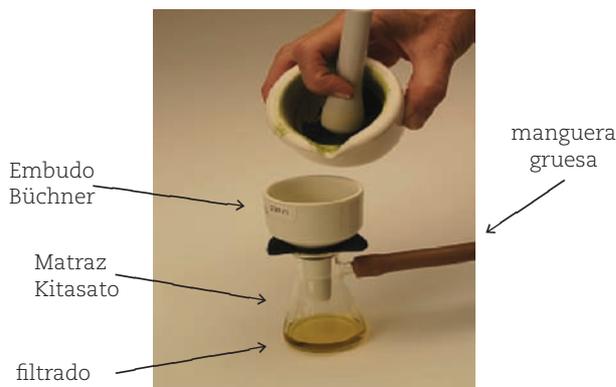


Figura 4. Extracto de los pigmentos vegetales.

cerlo no tiene la orientación del profesor y por lo general la actividad no la realiza en equipo, en la mayoría de los casos los estudiantes no se reúnen para analizar y discutir los resultados. Como ejemplo, a continuación se muestran la tabla de resultados y las preguntas del análisis de resultados de un apartado de la misma práctica.

A. MISCIBILIDAD DE LÍQUIDOS

• RESULTADOS

Tubo No.	Mezcla	No. de fases	Tipo de mezcla (homogénea o heterogénea)	Líquidos miscibles o inmiscibles
1	agua - metanol			
2	agua - hexano			
3	metanol - hexano			

• ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. ¿Fue correcta su predicción? Si la respuesta es negativa ¿a qué lo atribuye?
2. Explique por qué algunos pares de líquidos son miscibles entre sí y otros no lo son, ¿de qué depende esto?

Cuando desarrolla las prácticas el estudiante se acerca a la actividad científica e investiga al analizar, hacer predicciones, plantear hipótesis, discutir el resultado y establecer conclusiones. En las prácticas se incluye un apartado experimental en el que se efectúa una pequeña investigación y a pesar de que el estudiante no diseña el experimento, esta actividad le permite no sólo descubrir un hecho, sino también vislumbrar cómo se puede llegar a descubrirlo. La cultura científica

no es repetición de contenidos y fórmulas, sino comprensión de los principios fundamentales, problemas, métodos e instrumentos que llevan a la proposición de teorías (Córdoba, 2005). En esta práctica se investiga cuál de los dos tipos de pigmento, la clorofila o la xantofila, es más polar.

B. EXTRACCIÓN DE LOS PIGMENTOS VEGETALES DE LAS HOJAS DE ESPINACA.

• Objetivos del experimento:

- ✓ Incrementar la comprensión de los fundamentos teóricos del método de extracción de compuestos químicos y reconocer su importancia y eficacia
- ✓ Aplicar las técnicas de extracción sólido-líquido y líquido-líquido, en la separación de los pigmentos vegetales de la hoja de espinaca.
- ✓ Investigar cuál de los dos tipos de pigmento, clorofilas o xantofilas, es más polar.

♣ ¿Sabías que los colores que presentan los vegetales se deben a la presencia de algunos compuestos químicos coloridos llamados pigmentos? El color no es únicamente un carácter llamativo de la vegetación, sino que además algunos de los pigmentos están estrechamente ligados a las actividades biológicas del propio vegetal, como por ejemplo la fotosíntesis.

El color particular que presenta un determinado vegetal depende del predominio de un compuesto químico en la MEZCLA de pigmentos, o bien a la combinación de varios de ellos.

B EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO.

• RESULTADOS.

Tabla de resultados 8.3

Fase	Disolvente	Color	Observaciones
Superior			
Inferior			

$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$ $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$ CH_3-OH H_2O
 Hexano Etanol Metanol Agua

←—————→
 MENOS POLAR MÁS POLAR

• ANÁLISIS DE RESULTADOS:

EXTRACCIÓN LÍQUIDO - LÍQUIDO.

1. Al efectuar la extracción líquido - líquido, ¿qué ocurrió a nivel microscópico al añadir el hexano al extracto de pigmentos?
2. ¿Descubrió cuál de los pigmentos es más polar, la clorofila (verde) o la xantofila (amarilla)? **Explique cómo lo determinó.**

Al finalizar los experimentos los estudiantes elaboran en equipo el *informe de los resultados y su análisis*, mismo que

entregan al profesor quien conduce la *discusión grupal de los informes*. Se destaca la parte interpretativa en la construcción del conocimiento. Al inicio del curso de laboratorio se comenta a los alumnos que al igual que la interpretación dada por los científicos al investigar puede ser variada y generar controversia, también en el laboratorio escolar un mismo resultado se llega a explicar de distintas formas, haciendo necesaria la discusión grupal de los resultados y su interpretación, para que a través de ella se pueda construir el conocimiento científico.

Esta actividad, que no se efectúa en la enseñanza tradicional, promueve el diálogo y la reflexión entre el grupo, permite que el alumno complemente sus respuestas, las que se ven enriquecidas con las de los demás estudiantes, favorece la comprensión de la práctica, la confrontación de las ideas pre-existentes, el ajuste de errores en la interpretación de los resultados, retroalimenta oportunamente al alumno y contribuye a mejorar su aprendizaje e interés por el tema de estudio. Se afirma que una forma para mejorar el interés del estudiante es lograr que aprenda más durante las clases (Pozo y Gómez Crespo, 2001).

Las *actividades post-laboratorio* incluyen la elaboración del reporte de la práctica. Para ello el estudiante establece las conclusiones con base en los resultados y su análisis, además incluye un ejemplo de aplicación del tema de la práctica a su área de estudio, que ayuda al estudiante a dar sentido a su aprendizaje y mejorar su interés.

Dentro de las *actividades post-laboratorio* el alumno contesta un cuestionario que tiene como finalidad la reflexión sobre el aprendizaje logrado, las dificultades que encontró al realizar la práctica y lo invita a comentar si alguna de sus ideas previas sobre los conceptos estudiados se ha transformado. Esta reflexión logra que el alumno esté más consciente tanto de los conceptos aprendidos como de las dificultades que tuvo al efectuar los experimentos, induciéndolo a practicar la autoevaluación y autorregulación de su aprendizaje. Esta información es de utilidad para el docente ya que contribuye a identificar los conceptos que el estudiante logró aprender, los aspectos que causaron dificultades al realizar los experimentos y las ideas que el alumno dice que ha transformado. En esta forma el docente tiene más información para tomar las medidas necesarias a fin de ayudar al alumno a mejorar su aprendizaje y dar seguimiento a la transformación de sus concepciones.

En este modelo, que se muestra en la figura 5, el papel del docente es más activo, interviene en diversas acciones como son la exposición de los fundamentos de los experimentos, la dirección y supervisión del trabajo, el planteamiento de preguntas estratégicas durante la experimentación a fin de retar las concepciones de los estudiantes y favorecer la comprensión y aprendizaje de los diferentes temas, la conducción de la discusión grupal de los resultados y su análisis, la continua evaluación del alumno, la retroalimentación oportuna, etc.

A continuación se muestran las actividades post-laboratorio de la práctica No. 8

V. ACTIVIDADES POST-LABORATORIO: REPORTE DE LA PRÁCTICA y REFLEXIÓN

• REPORTE DE LA PRÁCTICA

I. Para cada uno de los experimentos realizados proporcione lo siguiente:

1. Nombre del apartado experimental.
2. Objetivos del experimento.
3. Resultados y/o tabla de resultados. En caso de haber realizado cálculos o representaciones gráficas, incluílos.
4. Conclusiones del experimento, con base en los resultados obtenidos y al análisis efectuado durante la clase.

II. Investigue una aplicación del **TEMA MÉTODOS DE SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS** (prácticas No. 5, 6, 7 y 8), que le parezca interesante por estar relacionada con su carrera o con alguna otra área que considere de importancia. Elabore un breve resumen del artículo, indicando cuál es **LA RELACIÓN QUE TIENE CON EL TEMA DE LA PRÁCTICA** y anexe fotocopia o impresión del mismo

El reporte de la práctica se entrega en equipo, impreso en computadora

• REFLEXIÓN

1. ¿Qué aprendí al realizar esta práctica?
2. ¿Qué dificultades tuve durante el desarrollo de la práctica?
3. ¿Considero que se han transformado las ideas previas que tenía con relación a los conceptos estudiados? Si la respuesta es afirmativa, mencione cuáles ideas se transformaron.
4. Comentarios sobre la práctica.

La reflexión se entrega en forma individual, impresa en computadora y anexada al reporte de la práctica.

Para evaluar la eficacia del manual pedagógico de prácticas se diseñó y realizó una investigación cuasiexperimental porque el rendimiento académico del estudiante no sólo varía conforme al modelo de enseñanza, sino que también influyen otros factores que se deben controlar al estudiar la pertinencia de un modelo didáctico.

Investigación cuasiexperimental y conclusiones

La investigación, que se describe en el anexo I, se diseñó considerando que el aprendizaje del estudiante de química se ve afectado por sus conocimientos previos y habilidad para razonar (Chandral, Treagust y Tobin, 1987; Lawson, 1985, Bunce, 2001). Al inicio del estudio se comprobó la equivalencia de los grupos que participaron, en cuanto a estas dos variables.

Estos grupos tuvieron un mismo docente titular a fin de que el rendimiento de los estudiantes no cambiara en función del profesor.

La investigación cuasiexperimental realizada en la UIA durante el semestre de otoño 2004 revela que los estudiantes que utilizaron el manual pedagógico tuvieron un rendimiento académico más alto. A través de la confrontación de las concepciones alternativas se favoreció su enriquecimiento y transformación. El modelo didáctico permitió optimizar el aprendizaje y mejorar en los alumnos su interés, apreciación y gusto por la química (Cervantes, 2006).

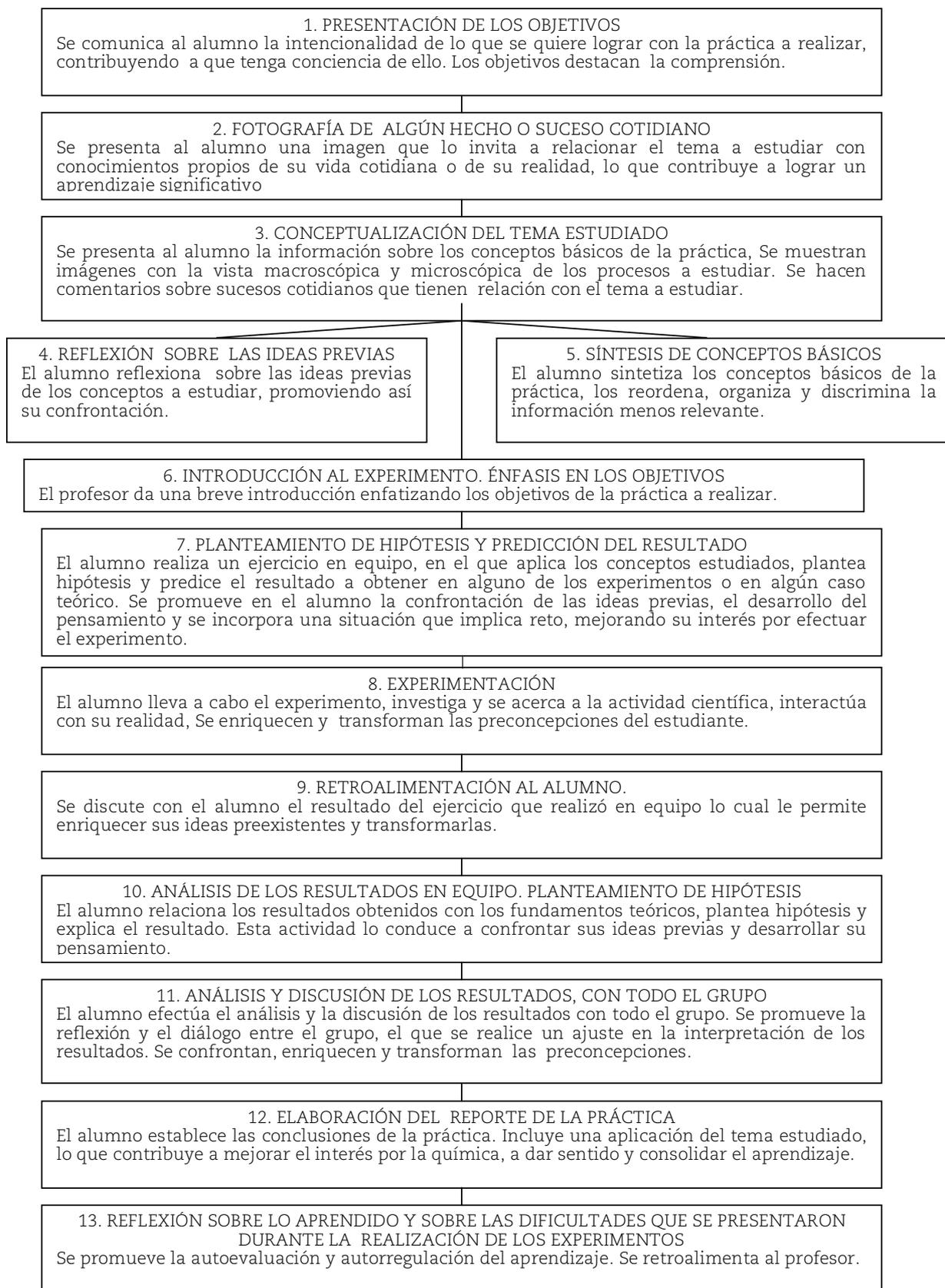
En el siguiente semestre a la investigación (primavera 2005) se implementó el uso del manual pedagógico en la UIA y fue posible ver el avance que tuvieron nueve grupos a cargo de diferentes docentes, a los cuales previamente se les dio a conocer el modelo didáctico. En ese semestre se confirmaron los beneficios que dicho modelo brinda tanto al estudiante, contribuyendo a incrementar su aprendizaje, como al profesor, proporcionándole un marco donde puede mejorar su práctica. Este manual, que actualmente se sigue utilizando, ayuda al docente a planear, organizar, desarrollar y evaluar las prácticas del laboratorio de química. El modelo se puede adaptar a las características y necesidades de otros cursos de laboratorio y podría ofrecer las mismas ventajas.

Es un reto para las instituciones hacer realidad la nueva visión de la educación superior al contribuir a renovar los modelos didácticos y optimizar la calidad de la enseñanza. Es posible mejorar la educación química y compartir con los estudiantes el gusto y el aprecio por la ciencia.

Referencias

- ANUIES. Consejo Nacional de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. *La Educación Superior en el Siglo XXI. Líneas estratégicas de desarrollo. Una Propuesta de la ANUIES*, ANUIES, Ciudad de México, México, 2000.
- Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. *Educational Psychology: A Cognitive View* (2nd ed.). New York: Holt, Rinehart & Winston, 1978.
- Bello, S., Ideas previas y cambio conceptual, *Educ. quim.*, **15**(3) 210-217, 2004.
- Bunce, D.M. ¿Does Piaget still have anything to say to Chemist?, *Journal of Chemical Education*, **78**(8) 127-140, 2001.
- Cervantes, N. V., *Diseño, Desarrollo y Evaluación de un Programa de Estrategias para la Enseñanza de la Química*, Tesis. Maestría en Investigación y Desarrollo de la Educación. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, México 2006.
- Córdoba, J., La enseñanza de las ciencias: Alfabetización científica o ciencia para futuros científicos, *Educ. quim.*, **16**(3) 398-403, 2005.
- Chandral S., Treagust D. y Tobin, K. The role of cognitive factors in chemistry achievement, *Journal of Research in Science Teaching*, **24**(2) 145-160, 1987.
- Díaz-Barriga, A. F., Hernández, R.G., *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*, McGraw Hill, Ciudad de México, México, 2002.

Figura 5. El modelo didáctico propuesto.



- Flores, F., El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas, *Educ. quím.*, **15**(3) 256-269, 2004.
- Garriz, A., Veinte años de la teoría del cambio conceptual, *Educ. quím.*, **12**(3) 123-126, 2001.
- Gómez-Crespo, M.A., Pozo, J. I. y Gutiérrez-Julián, M.S., Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestro sentido, *Educ. quím.*, **15**(3) 198-209, 2004.
- Hodson, D., Hacia un enfoque más crítico del trabajo del laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**(3) 299 -313, 1994.
- Hofstein, A., The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation, and research, *Chemistry Education: Research and Practice*, **5**(3) 247-264, 2004.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. N. The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century, *Science Education*, **88**, 28-54, 2004.
- Lawson, A.E. (1985) A review of research on formal reasoning and science teaching, *Journal of Research in Science Teaching*, **22**(7) 569-617, 1985.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo M.A. *Aprender y enseñar ciencia*, Ediciones Morata, S.L. Madrid, España, 2001.
- Rodríguez-Moneo, M. y Aparicio J., Los estudios sobre el cambio conceptual y la enseñanza de las ciencias, *Educ. quím.*, **15**(3) 270-280, 2004.
- Russell, J., Kozma, R., Jones, T., Wykoff, J., Marx, N., y Davis, J. Use of simultaneous – synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts, *Journal of Chemical Education*, **74**(3) 330-334, 1997.

Anexo I. Investigación cuasiexperimental

Características de la investigación

El diseño cuasiexperimental se integró con grupos ya constituidos de estudiantes de diversas licenciaturas que cursan la materia y por consiguiente los sujetos no fueron asignados al azar. El estudio longitudinal de tipo correlacional permitió analizar el rendimiento académico del estudiante en función del modelo didáctico. En el estudio participaron seis grupos tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Modelo gráfico del diseño cuasiexperimental.

Grupo Control C	Pre-test	1 ^{er} Post-test y encuesta	2 ^o Post-test y encuesta
Grupo Control F	Pre-test	1 ^{er} Post-test y encuesta	2 ^o Post-test y encuesta
Grupo Experimental G	Pre-test PEEQ	1 ^{er} Post-test y encuesta PEEQ	2 ^o Post-test y encuesta
Grupo Experimental H	Pre-test PEEQ	1 ^{er} Post-test y encuesta PEEQ	2 ^o Post-test y encuesta
Grupo Referente E		1 ^{er} Post-test	2 ^o Post-test
Grupo Referente N		1 ^{er} Post-test	2 ^o Post-test

El tratamiento experimental consistió en la aplicación del Programa de Estrategias para la Enseñanza de la Química (PEEQ), que es la base del modelo didáctico.

La población corresponde a los alumnos que cursaron el Laboratorio de Química General durante el periodo escolar de otoño-2004. Los sujetos estudiaban el primer semestre de carreras de las áreas de Ingeniería, y de Nutrición y Ciencias de los Alimentos. La muestra estuvo formada por cuatro grupos con un mismo docente titular, dos participaron como grupo Control y dos como grupo Experimental (tabla. 2).

A fin de tener mayores elementos para evaluar la eficacia del modelo también participaron dos grupos como Referente, a cargo de distintos docentes. Estos grupos, que se especifican en la tabla 3, estuvieron integrados casi en su totalidad con estudiantes de las carreras de Ingeniería Química, y Biomédica, los cuales tradicionalmente tienen un buen rendimiento académico en esta asignatura.

Instrumentos de medición

Se elaboraron ejercicios y exámenes de química, dos cuestionarios dirigidos al alumno y uno al docente, asimismo se creó una guía de observación. Los ejercicios y exámenes de química se diseñaron para medir los conocimientos de química y la habilidad del alumno para aplicarlos. Se excluye casi por completo la evaluación memorística o repetitiva. Dichos instrumentos se describen en seguida.

Ejercicios de química. Para cada una de las prácticas programadas durante el curso se elaboró un ejercicio de química que se aplicó al inicio de la clase.

Tabla 2. Grupos Control y Experimental.

Grupo	Total de alumnos	No. de alumnos por carrera	Horario
Control C	14	14 Ing. Industrial	lunes 13:00-15:00 pm
Control F	20	18 Nutrición 1 Ing. Industrial 1 IME*	martes 9:00-11:00 am
Experimental G	17	7 Ing. Civil 6 Ing. Industrial 4 Ing. Física	martes 11:00-13:00 pm
Experimental H	15	7 Ing. Civil 2 IME* 4 Nutrición 1 Ing. Industrial 1 Ing. Mecatrónica	martes 13:00-15:00 pm

*IME (Ingeniería Mecánica y Eléctrica)

Tabla 3. Grupo Referente.

Grupo	Total de alumnos	No. de alumnos por carrera	Horario
Referente N	16	15 Ing. Química 1 Ing. Industrial	jueves 11:00-13:00 pm
Referente E	15	10 Ing. Biomédica 4 IME 1 Ing. Mecatrónica	lunes 16:00-18:00 pm

*IME (Ingeniería Mecánica y Eléctrica); **XIME (Ingeniería Mecánica y Eléctrica).

Exámenes de química.

Pre-test. Se diseñó para medir los conocimientos de química que el estudiante tenía antes de cursar el Laboratorio de Química General y se aplicó en la primera semana del inicio de clases

Primer examen Post-test. Esta prueba se planeó para medir el aprendizaje logrado por el alumno en la primera parte del curso de laboratorio, que corresponde a 7 de 13 prácticas. Su diseño se basó en aquellas preguntas incluidas en el Pre-test que cubrían los temas vistos hasta entonces. Se agregó una pregunta, que se muestra a continuación, en la que se planteó un problema cuya resolución requería un mayor esfuerzo para sintetizar y aplicar los conocimientos adquiridos en las 7 prácticas realizadas, durante el curso el estudiante nunca resolvió algún problema similar a éste. La calificación máxima en el examen es de 130 puntos. La pregunta incluida en el 1^{er} Post-test es la siguiente:

Si una compañía te contratara para diseñar un proceso cuyo objetivo es separar de una mezcla a los siguientes compuestos:

MEZCLA

Compuesto	Características
Cloruro de sodio	Sólido. Compuesto iónico. No es volátil.
Ácido esteárico	Sólido. Compuesto poco polar. No es volátil.
Hexano	Líquido. Compuesto de baja polaridad. Densidad: 0.660 g/mL Volátil. Punto de ebullición normal: 69°C
Agua	Líquido. Compuesto polar. Densidad: 1.000 g/mL Volátil. Punto de ebullición normal: 100°C
Metanol	Líquido. Compuesto polar. Densidad: 0.786 g/mL Volátil. Punto de ebullición normal: 64.5°C

a) ¿Qué métodos seleccionarías para lograr la separación de cada uno de los compuestos presentes en la mezcla (RECUERDA QUE TODOS ELLOS SE ENCUENTRAN MEZCLADOS)?

b) ¿En qué orden utilizarías cada uno de los métodos de separación y qué resultado obtendrías en la separación de los compuestos al realizar cada uno de ellos?

c) Revisa las etapas del proceso que diseñaste. Conforme a las características de los métodos que seleccionaste y las de los

componentes de la mezcla, indica por qué es adecuada cada una de las etapas que propones para ir logrando la separación de los componentes de la mezcla original.

Segundo examen Post-test. El examen se elaboró para medir el aprendizaje de la química logrado por el alumno en la segunda parte del curso, que abarca las últimas 6 prácticas. Se elaboró conforme el criterio seguido en el primer examen Post-test. La calificación máxima en este examen es de 100 puntos.

Primer cuestionario para el alumno. Se diseñó para saber la apreciación del estudiante sobre importantes aspectos de la metodología implementada. Se aplicó al terminar la primera parte del curso. Las preguntas se centran en los siguientes puntos: claridad del manual de prácticas, comprensión de los experimentos efectuados, relevancia de los temas estudiados, interés por la química al inicio del curso, importancia de algunas de las actividades realizadas, mejora en el desempeño al llevar a cabo los experimentos, atención dada por el docente y ambiente de la clase.

Segundo cuestionario para el alumno. Se elaboró a fin de corroborar la opinión del alumno con relación a los distintos aspectos de la metodología implementada y para conocer su valoración con respecto a la educación química. Se aplicó al finalizar el curso. Las preguntas se diseñaron considerando todos los puntos incluidos en el primer cuestionario.

Cuestionario para el docente. Se planeó para saber en qué medida el modelo utilizado fue un apoyo para que el profesor tuviera un mejor resultado con sus alumnos. Se aplicó durante el semestre de primavera-2005, al implementar el uso del manual pedagógico en la UIA. Las preguntas abarcan los siguientes aspectos: mejora en el orden, secuencia y articulación de los temas estudiados, adelanto en la comprensión y aplicación de los conceptos vistos, pertinencia y eficacia de las actividades de enseñanza realizadas y dificultades presentadas al utilizar el manual pedagógico.

Guía de observación. Se diseñó para examinar aspectos relacionados con la conducta y el desempeño del estudiante. Los puntos que se consideran son los siguientes: actitud al llegar al laboratorio, organización al efectuar los experimentos, interés, comprensión, desempeño y comentarios.

Pruebas para efectuar el análisis de los resultados

El análisis de los resultados de los cuestionarios aplicados se efectuó estimando el porcentaje que elige cada opción de respuesta. Con base en este porcentaje los datos fueron interpretados en cada uno de los casos.

Al analizar los resultados de la guía de observación se hizo una síntesis para compararlos e interpretarlos.

Con respecto a los ejercicios de química se elaboraron tablas con el resumen de estos resultados para su posterior interpretación.

Los resultados obtenidos al administrar cada uno de los tres exámenes de química, fueron analizados estadísticamente empleando el paquete SPSS 12.0 para Windows. Acorde a las características de la muestra y de las variables medidas se seleccionaron las siguientes pruebas de análisis estadístico:

"t" de Student. Es una prueba paramétrica que se emplea para variables de intervalo y de razón. A través de ésta es posible comparar la media de una misma variable para dos muestras independientes, o bien las medias de dos variables para una misma muestra. En esta investigación se aplicó para realizar los siguientes análisis estadísticos:

- Equivalencia entre los grupos. Contraste entre las medias de las variables *Razonamiento* y *Pre-test*, para los grupos Control y Experimental.
- Eficacia del modelo didáctico implementado. Contraste entre las medias de las variables *1er Post-Pre-test*, *2o Post-Pre-test*, *1er Post-test*, *2o Post-test*, *Pregunta No. 14*, y *Pregunta No. 5*, para los grupos Control, Experimental y Referente.

Coefficiente de correlación de Pearson. Es un estadístico paramétrico que se aplica a variables de intervalo y de razón, expresa la cuantía de la relación entre dos variables. En la investigación se utilizó para efectuar los siguientes análisis:

- Correlación entre las variables *Pre-test* y *1er Post-Pre-test*.
- Correlación entre las variables *Pre-test* y *2o Post-Pre-test*
- Correlación entre las variables *Razonamiento* y *1er Post-Pre test*
- Correlación entre las variables *Razonamiento* y *2o Post-Pre test*

Prueba de Chi-Cuadrado. El estadístico de Chi-Cuadrado es una prueba no paramétrica de independencia estadística que se aplica a variables nominales. En esta investigación se empleó para llevar a cabo los siguientes análisis:

- Asociación entre las variables *Docente* y *1er Post- test*
- Asociación entre las variables *Docente* y *2o Post- test*

En todos los casos se procedió a interpretar el resultado del análisis estadístico efectuado.

Principales resultados

Los grupos Control y Experimental fueron equivalentes en cuanto a los conocimientos previos y habilidad para razonar del estudiante. Al administrar los ejercicios de química se observó que los alumnos que utilizaron el manual pedagógico superaron el desempeño de los estudiantes que utilizaron el manual cotidiano. El análisis estadístico de los resultados obtenidos al administrar los exámenes de química revela que los estudiantes que utilizaron el manual pedagógico (grupo Experimental) tuvieron una media significativamente más alta que los que emplearon el manual cotidiano (grupos Control y Referente). Los grupos Control y Referente se comportaron de manera similar. Esto se aprecia en el resultado del análisis estadístico que se muestra en las tablas 4 y 5, así como en las gráficas de las figuras 1 y 2. Los resultados en los ejercicios y exámenes de química muestran que los estudiantes que emplearon el manual pedagógico dan un número mayor de respuestas correctas y la claridad de sus argumentos refleja cómo se llegaron a transformar sus ideas previas. En la mayoría de las respuestas dadas por ellos a la pregunta que se muestra en la página 104, separan correctamente a los componentes de la mezcla utilizando adecuadamente varios métodos, a diferencia de los alumnos de los grupos Control y Referente, que en la mayoría de los casos proponen una combinación errónea de dichos métodos, por ejemplo, no reconocen que los compuestos sólidos están disueltos en la mezcla y proponen filtrarlos para efectuar su separación.

Tabla 4. Prueba t-Student 1^{er} Post-test. Grupos: Control, Experimental y Referente.

Variable	N	Media	Prueba t para la igualdad de las medias	
* 1 ^{er} Post-test Control Experimental	34 32	59.15 84.88	-4.480	0.000*
* 1 ^{er} Post-test Referente Experimental	31 32	63.84 84.88	-3.667	0.001*
1 ^{er} Post-test Referente Control	31 34	63.84 59.15	0.882	0.381

Escala: 1-130

*Diferencia significativa

Tabla 5. Prueba t-Student 2^o Post-test. Grupos: Control, Experimental y Referente.

Variable	N	Media	Prueba t para la igualdad de las medias t	Sig. Bilateral
2 ^o Post-test Control Experimental	34 29	49.97 72.38	-4.808	0.000
2 ^o Post-test Referente Experimental	30 29	55.53 72.38	-3.398	0.001
2 ^o Post-test Referente Control	30 34	55.53 49.97	1.169	0.247

Escala: 1-100

*Diferencia significativa

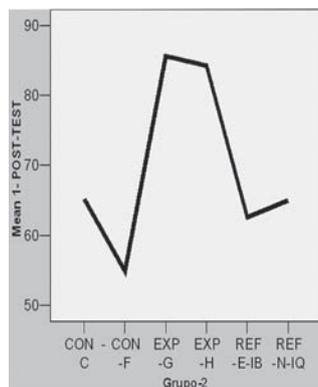


Figura 1. Primer examen Post-test.

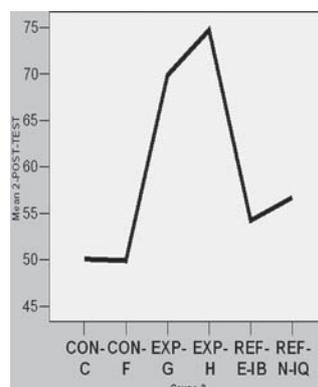
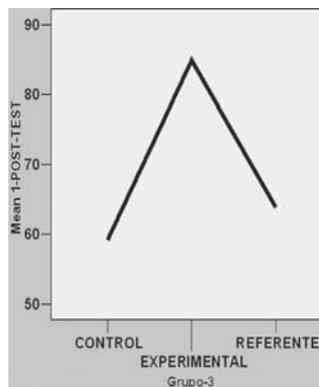


Figura 2. Segundo examen Post-test.

Se conoce la existencia de una correlación entre la habilidad para razonar del estudiante y el aprendizaje de la química. El análisis estadístico efectuado durante la investigación lo corrobora. Al comparar el rendimiento del alumno en función de su habilidad para razonar, se demostró que los estudiantes que siguieron el modelo didáctico alcanzaron mejores niveles de aprendizaje. Los resultados que se presentan en la tabla 6 revelan que los estudiantes que emplearon el manual pedagógico (grupo Experimental) tienen una media más alta que los que utilizaron el manual cotidiano (grupo Control), principalmente los del nivel 2 cuya diferencia es significativa. Esto también se aprecia en las gráficas de la figura 3.

Tabla 6. Prueba t-Student 2º examen Post-test. Grupos Control y Experimental. Muestra agrupada en tres niveles: bajo (1), medio (2) y alto (3).

GRUPO	MEDIA	DIF. 2-POST-PRE TEST Variable de agrupación: razonamiento	Prueba t para la igualdad de las medias t Sig. Bilateral	
Control nivel 1 Experimental nivel 1	42.875 53.220	Nivel 1 Con – Nivel 1 Exp	-1.089	0.300
Control nivel 2 Experimental nivel 2	49.932 70.769	Nivel 2 Con – Nivel 2 Exp	-3.270	0.003*
Control nivel 3 Experimental nivel 3	65.333 80.970	Nivel 3 Con – Nivel 3 Exp	-1.606	0.136

Escala: 1-100

*Diferencia significativa

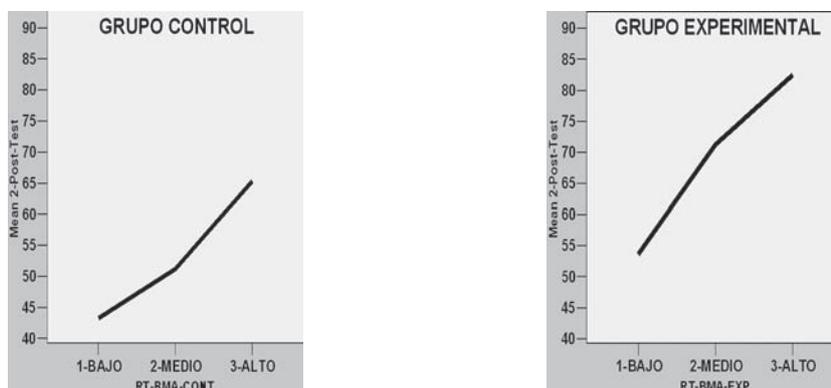


Figura 3. Segundo examen Post-test. Muestra agrupada en tres niveles: bajo (1), medio (2) y alto (3).

Por otro lado, el resultado de la guía de observación mostró que los estudiantes del grupo Experimental tuvieron una mejor comprensión de los experimentos efectuados y manifestaron más seguridad al realizarlos.

Igualmente los cuestionarios aplicados revelan una mejora en el estudiante respecto al interés, la apreciación y el gusto por la química. Al inicio del curso al 58% de los alumnos que usaron el manual pedagógico, la química le parecía poco interesante o aburrida y al finalizar éste al 94% de ellos le parece interesante o muy interesante. Asimismo cinco de ocho profesores opinan que el manual pedagógico les da mayor soporte en su enseñanza y es mejor apoyo para el alumno en su aprendizaje.