

Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas
Asociación Farmacéutica Mexicana, A.C.
rncf@afmac.org.mx
ISSN (Versión impresa): 1870-0195
MÉXICO

2007

Vicente J. Hernández Abad / José Luis Alfredo Mora Guevara / Elizabeth Sánchez
González / Juan Francisco Sánchez Ruiz / María Elena Tejeda Rosales / Rubén
Marroquín Segura

PERCEPCIÓN DE LOS ESTUDIANTES ACERCA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE
TÉCNICAS EN MICROESCALA EN LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL DE LA
QUÍMICA EN EL LABORATORIO DE DESARROLLO ANALÍTICO...

Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, octubre-diciembre, año/vol. 38, número
004

Asociación Farmacéutica Mexicana, A.C.
Distrito Federal, México
pp. 5-14

Trabajo Científico

Percepción de los estudiantes acerca de la implementación de técnicas en microescala en la enseñanza experimental de la Química en el Laboratorio de Desarrollo Analítico de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM

Student's perception about microscale techniques implementation in the experimental chemical education scheme within the Analytical Development laboratory course at Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM

Vicente J. Hernández-Abad, José Luis Alfredo Mora Guevara, Elizabeth Sánchez-González, Juan Francisco Sánchez Ruiz, María Elena Tejeda Rosales, Rubén Marroquín Segura
Laboratorio de Investigación Farmacéutica, Campus II, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN: con la finalidad de favorecer la innovación en la enseñanza de la Química Experimental, la optimización de los recursos y la disminución de las emanaciones contaminantes al ambiente, a través de la implementación de técnicas de Química en microescala en los laboratorios de docencia de la FES Zaragoza, cinco métodos de análisis oficiales descritos en la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, se microescalaron ya sea al 10 (paracetamol y dipiridamol) o al 25% (óxido de zinc, benzoil metronidazol y citrato de oxolamina) del gasto inicial y se validaron. Estos nuevos métodos se compilaron en un manual que se aplicó en cuatro grupos de laboratorio de Desarrollo Analítico de la carrera de Q.F.B. de la FES Zaragoza. La implementación de dichas prácticas generó un efecto positivo en cuanto la formación técnica y científica de los estudiantes, aunque debe considerarse mejorar dicha implementación para obtener un impacto actitudinal positivo en los mismos. Con esto, se logró mantener la calidad de la formación del profesional farmacéutico en respuesta a la constante disminución de recursos para este fin.

ABSTRACT: in order to favor the innovation in the education of Experimental Chemistry, the optimization of resources and the reduction of polluting emanations to the atmosphere, through the implementation of microscale techniques in the chemical education laboratories at FES Zaragoza, five officially described pharmacopeial methods were optimized and validated, microscaling these methods to the 10 (paracetamol and dipiridamol) or 25% (zinc oxide, benzoil metronidazol, oxolamin citrate) of their initial cost. These new methods were compiled in a manual that was applied in four groups of laboratory of Analytical Development of the FES Zaragoza. The implementation of these practices generated a positive effect as soon as the technical and scientific formation of the students was maintained, although it must be considered to improve this implementation to obtain positive an attitudinal impact in such students. With this, it was managed to maintain the quality of the formation of the pharmaceutical professional in answer to the constant diminution of resources for this aim.

Palabras clave: educación, microescala, análisis químico, validación, calidad

Key words: education, microscale, chemical analysis, validation, quality

Correspondencia:

Vicente J. Hernández-Abad
Laboratorio de Investigación Farmacéutica, Campus II
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
Universidad Nacional Autónoma de México
Batalla de 5 de Mayo s/n, Col. Ejército de Oriente
C.P. 09230, México, D.F.
Teléfono: 56230724; Fax: 57736330
e-mail: vabad@prodigy.net.mx

Fecha de recepción: 20 de marzo de 2007

Fecha de aceptación: 05 de julio de 2007

Introducción

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, la matrícula de alumnos en nivel licenciatura en el área de las Ciencias de la Salud, se incrementó en más del 22% en el período de 2000 a 2004, pasando de 142667 a 174230 alumnos atendidos en los sectores público y privado. Por su parte, el gasto en educación a nivel superior pasó de representar el 6.41% del PIB a un 6.90% en el mismo período de tiempo, lo que representa un incremento en términos reales apenas superior al 7%¹⁻². Esto es un indicador de que las universidades deben mantener la calidad de la educación que imparten, atendiendo a un número cada vez mayor de estudiantes en sus espacios académicos. Resulta de particular interés este tópico en el área de las Ciencias Farmacéuticas, debido a la fuerte carga experimental que conlleva la formación de un profesional del área, y que está explícita en todos los planes y programas de estudio que se imparten en el país. Ante esta situación, resulta necesario establecer estrategias que permitan continuar con la formación del farmacéutico en el nivel superior, sin demérito de la calidad en su formación. Así mismo, es indispensable la constante revisión de los programas de las actividades académicas que conforman los diferentes planes de estudios, con la finalidad de adaptarlos a las necesidades del entorno nacional e internacional, las cuales están en constante cambio.

Desde el inicio de las actividades académicas en la entonces ENEP Zaragoza, se estableció la necesidad imperante de vincular un sólido programa teórico de Química General, Química Analítica y Química Orgánica, con una serie de actividades experimentales fundamentadas en las que el alumno, a través de la experimentación y con el uso de las herramientas indispensables de la lógica (conceptualización, inducción y deducción), pudiera allegarse una serie de conocimientos que le ayudarían en el posterior desarrollo de actividades más especializadas para su campo de desarrollo profesional.³

Ahora bien, en los semestres terminales de la Carrera de Q.F.B. (de 6° a 9°), el alumno comienza a familiarizarse con aspectos regulatorios de su futura práctica profesional. En ese contexto, sobre todo en el módulo de Desarrollo Analítico del 8° semestre de la Carrera, interesa tanto el *saber hacer* como el *saber crear*, los cuales se concatenan a través del *saber interpretar*, ya que no solamente se estudian metodologías preestablecidas, sino que se generan proyectos específicos para la práctica profesional que están claramente fundamentados y regulados a través de la normatividad nacional e internacional vigente. En los módulos que conforman las actividades académicas en estos semestres, es indispensable que el alumno aprenda a interpretar los resultados claramente, por lo que toda la metodología de enseñanza debe enfocarse a la trazabilidad de las mediciones y a la disminución de la incertidumbre asociada a los fenómenos químicos, bioquímicos y clínicos que se estudian.³

Por otra parte, en años recientes, se ha generado la inquietud, por parte de múltiples grupos académicos en la Facultad, de enseñar a los estudiantes a trabajar en ambientes más limpios, que respeten el ambiente, y donde conozcan que en la Química, no solamente interesa obtener los resultados planteados en los objetivos de los diferentes proyectos que realizan durante su formación (eficacia), sino que es indispensable también la optimización del uso de los recursos de toda índole con que se alcanzan estos objetivos (eficiencia).

Por todo lo anterior, resulta indispensable que, en la Facultad, se atienda a las expectativas de los usuarios de nuestros servicios (alumnos) mediante la optimización de los recursos destinados a su formación, sin perder de vista que, el eje rector de las actividades docentes, tiene su fundamento en los planes de estudios vigentes. En el caso particular de la enseñanza de la Química Experimental, se propuso en este proyecto un alcance racional aplicable a la docencia, como lo es la Química en Microescala.

En los cursos de laboratorio de todos los niveles hay una tendencia generalizada, desde hace varias décadas, hacia la realización de experimentos en la docencia en escala cada vez menor, lo que además de representar un ahorro efectivo en materiales, y por tanto en costos, significa una reducción en los problemas de contaminación ambiental, de higiene y seguridad⁴. Antes del año 1950, se proponían comúnmente experimentos que requerían una cantidad de reactivos en una escala de 50 a 100 gramos de sólido y de 500 a 2000 mililitros para líquidos. Posteriormente, se redujo la escala usual a alrededor de 10g, y la tendencia a disminuir la escala continuó hasta llegar a lo que actualmente se conoce como Microescala. El enfoque de la docencia de la Química en Microescala es vital en un mundo cada vez más contaminado, donde es imperativo formar en el estudiante una conciencia del impacto que la actividad propia de su profesión genera en el ambiente, es decir, fomentar en el estudiante el concepto de la "Química Verde"⁴⁻⁵. Así mismo, la Química en Microescala apunta a la Gestión de la Calidad Total, toda vez que se reúnen en ella eficacia (cumplimiento de objetivos) y eficiencia (uso racional de los recursos).

A manera de definición⁴, puede decirse que las técnicas en Microescala son aquellas donde se busca la reducción de la cantidad de reactivos químicos utilizados a su mínima expresión, suficiente para que los experimentos puedan ser efectivamente realizados, con un impacto mínimo en el ambiente, a través de la generación de residuos en cantidades mínimas (esta definición es la aprobada por la International Union of Pure and Applied Chemistry, donde se reconoce a la Microescala como Química en Escala Pequeña); las cantidades de reactivos empleadas son menores de 1 gramo o 2 mililitros, preferentemente de 25 a 150 miligramos para sólidos y de 100 a 1000 microlitros para líquidos. En la actualidad ya se aplican en muchos países técnicas de Microescala en cursos de laboratorio de Química desde el nivel de bachillerato y hasta el de Posgrado; en este último caso, es claro

cómo los investigadores en formación en las Ciencias Químicas, proponen la modelación por computadora seguida por las pruebas con cantidades de reactivos del orden de los miligramos, para probar las múltiples hipótesis de trabajo que se generan, antes de pasar a la etapa final de la Investigación. Esta etapa inicial, la etapa de diseño, se realiza en el ámbito de la Microescala, toda vez que no es posible invertir grandes cantidades de reactivos sin asegurar que se obtengan los resultados necesarios.

Entre los beneficios que representa la implantación de técnicas de laboratorio en Microescala en los laboratorios de docencia podemos mencionar las siguientes⁶:

- a) Mejoramiento de la calidad del aire dentro del laboratorio y disminución de riesgos a la salud por la emanación de vapores tóxicos.
- b) Reducción de riesgos de accidentes de laboratorio provocados por reactivos cáusticos, inflamables o explosivos. Si estos accidentes ocurren, serán necesariamente menos graves.
- c) Contribución significativa a la preservación del medio ambiente al reducirse considerablemente la generación de desechos químicos.
- d) Reducción de costos de operación, particularmente en el rubro de materiales químicos.
- e) Desarrollo en el estudiante de una mayor conciencia en relación con factores ecológicos, económicos y de seguridad, lo que tendrá un importante impacto en su formación profesional.
- f) Desarrollo en el estudiante de mayores destrezas en el manejo de materiales y reactivos químicos.
- g) Disminución de los espacios requeridos para almacenar sustancias Químicas (disminución de riesgos de almacenamiento) y materiales de laboratorio (optimización de espacios para la docencia).

De los inconvenientes de la Microescala en la práctica de la Química se puede anotar⁶:

- a) La necesidad de adquisición de material de vidrio especial y de equipos de medición más precisos, así como de reactivos más puros. Este inconveniente es salvable conforme disminuye el gasto en reactivos, que a corto plazo amortigua la inversión inicial en equipo especializados.
- b) La dificultad en la observación de ciertos fenómenos, como por ejemplo la liberación de calor en algunas reacciones. En este caso, la Microescala se auxilia entonces de técnicas instrumentales de vanguardia, como el análisis térmico diferencial, donde se usan muestras del orden de 5 miligramos.
- c) La imposibilidad de aplicar óptimamente algunas técnicas, como sería el caso, por ejemplo, de la destilación fraccionada.
- d) Un incremento en el riesgo de contaminación del producto y de obtener menores rendimientos debido a pérdidas mecánicas. Por esta razón, resulta indispensable fomentar la destreza del alumno en el manejo de los materiales y trabajar, donde sea posible, con reactivos de alta pureza.

Finalmente, es necesario tener en cuenta que, en muchos grupos académicos y profesionales, se ha puesto en tela de juicio a la Microescala, toda vez que es común escuchar que es difícil llegar a reproducir los experimentos realizados con estas técnicas, y que su trazabilidad es dudosa, conjuntamente con su alta incertidumbre. Sin embargo, es indispensable hacer mención que, gracias a la factibilidad de obtener instrumentos de alta precisión, y a través de la validación estadística de los resultados obtenidos en el laboratorio, es posible asegurar que los resultados obtenidos con Microescala son tan válidos como los que se generan por técnicas convencionales. En este aspecto, universidades como la de Michigan, han establecido un programa completo de valoración estadística de sus experimentos en Microescala, con lo que demuestran cumplimiento a la legislación estatal y federal de Estados Unidos en cuanto a los resultados de sus experimentos y sus técnicas de enseñanza.

Por otra parte, no se puede concebir la enseñanza experimental de la Química como un proceso mecánico, donde los estudiantes son esencialmente técnicos pasivos que simplemente desempeñan un procedimiento. Es necesario tomar en cuenta la percepción de los estudiantes acerca de su enseñanza, y su propio rol en el aprendizaje no sólo de técnicas, sino de valores, aptitudes y actitudes necesarias para su futuro desempeño laboral. Es claro que la experiencia en el laboratorio será valiosa sólo cuando sea concebida por un instructor que entiende bien el propósito de la misma y cuando los estudiantes perciben su rol activo dentro de ella.⁷

Por todo lo anteriormente expuesto, el propósito de este trabajo es el de evaluar la percepción de los estudiantes acerca de la implementación de técnicas de Química en Microescala en los laboratorios de docencia de la FES Zaragoza, en particular en el laboratorio de Desarrollo Analítico del 8º semestre de la Carrera de Q.F.B., después del microescalamiento de métodos de análisis oficiales descritos en la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos.

Material y métodos

1. Conformación de grupos de trabajo

En esta etapa, se formaron ocho grupos de trabajo, con dos o más docentes cada uno, responsables de la conducción de experimentos donde se escalaron las cantidades de reactivos necesarias para diferentes proyectos a niveles mínimos. Dichos grupos de trabajo, a su vez, fueron responsables de validar los resultados, y de redactar los protocolos correspondientes a las nuevas prácticas. Era obligatorio que los proyectos involucraran alumnos en práctica, servicio social o tesis. Se desarrollaron procedimientos en microescala, partiendo de métodos oficiales descritos en la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, para los fármacos: dipiridamol, citrato de oxolamina, parace-

tamol, benzoil metronidazol y óxido de zinc. Estos métodos fueron seleccionados debido a que en ellos se utilizan reactivos altamente contaminantes y por la cantidad de desechos que generan. Para cada fármaco, se partía del método oficial, escalando geométricamente las cantidades de reactivos a un 50, 25 y 10% de la cantidad marcada en el método oficial. Todos los escalamientos desarrollados se validaron de manera cruzada con respecto a los resultados obtenidos con el método de referencia.

Los métodos oficiales se encuentran descritos en la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 8ª Edición⁸. Los métodos microescalados, se describen a continuación:

Citrato de oxolamina: se pasaron 15 mg de la muestra a un matraz Erlenmeyer de 10 mL. Se disolvieron en una mezcla de anhídrido acético y ácido acético glacial (25:20). Se tituló con una solución volumétrica de ácido perclórico 0.1 N preparada en ácido acético glacial manteniendo en agitación magnética constante. Se utilizó como indicador 0.1 mL de solución de cristal violeta. Se efectuó una determinación en blanco para hacer las correcciones necesarias.

Óxido de zinc: se disolvieron 0.150 g de la muestra recién calcinada y 0.250 g de cloruro de amonio en 5 mL de solución ácido sulfúrico 0.1 N, calentando suavemente. Cuando estuvo totalmente disuelta la muestra, se agregaron 0.1 mL de solución indicadora de anaranjado de metilo y se tituló el exceso de ácido sulfúrico con solución volumétrica de hidróxido de sodio 0.1 N.

Benzoil metronidazol: se disolvieron 62.5 mg de la muestra en 12.5 mL de ácido acético glacial y 2.5 mL de anhídrido acético, se tituló con agitación magnética constante con solución volumétrica de ácido perclórico 0.1 N, se determinó el punto final potenciométricamente. Se efectuó una determinación en blanco y se hicieron las correcciones necesarias.

Dipiridamol: se colocaron 45 mg de la muestra en un vaso de precipitados de 50 mL y se disolvieron en 5 mL de ácido acético glacial. Se agitó durante 30 min. Se agregaron 7.5 mL de acetona y se agitó durante 15 minutos más. Se tituló con una solución volumétrica de ácido perclórico 0.1 N en ácido acético; se determinó el punto final potenciométricamente, utilizando un sistema de electrodos de vidrio plata-cloruro de plata. Se efectuó una prueba en blanco y se realizó la corrección necesaria.

Paracetamol: se disolvieron 30 mg de la muestra en 2.5 mL de metanol en un matraz volumétrico de 100 mL, se llevó al aforo con agua. Se pasó 1 mL de esta solución a un matraz volumétrico de 25 mL y se llevó al aforo con agua. Se pesaron 30 mg de la muestra, se disolvieron en 2.5 mL de metanol, se pasaron a un matraz volumétrico de 100 mL y se llevó al aforo con agua. Se tomó una alícuota de 1 mL y se transfirió a un matraz volumétrico de 25 mL aforando con agua. Se determinó

la absorbancia de la preparación de la muestra y de la preparación de referencia a 244 nm, utilizando agua como blanco de ajuste.

2. Generación de manual de prácticas

Al término del periodo inicial de experimentos, el cual se publicó, previo aval del Comité Académico de la Carrera de Q.F.B. de la FES Zaragoza, en un documento financiado con recursos del proyecto. Los derechos de autor correspondientes se tramitaron de acuerdo con lo estipulado en la Legislación Universitaria.

3. Implementación de procedimientos analíticos a microescala

El laboratorio de Desarrollo Analítico de la Carrera de Q.F.B. cuenta con tres componentes submodulares: Desarrollo de métodos de análisis, Validación de Métodos de Análisis y Ensayo microbiológico. Se trabajó en los dos componentes iniciales, proponiendo a los diferentes equipos de laboratorio el desarrollo de un método de análisis para fármacos puros, donde se utilizara la microescala para el análisis de las respectivas sustancias. Una vez que los alumnos propusieron los procedimientos respectivos, se les hizo entrega de los manuales, para que contrastaran sus propuestas con los procedimientos estipulados. Después de eso, llevaron a cabo los ajustes experimentales necesarios, y procedieron a la validación cruzada tanto del método en microescala como del método oficial descrito en la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. La validación cruzada se realizó conforme a lo descrito en guías de la Food and Drug Administration.⁹

Una vez desarrollados y validados los procedimientos, se les solicitó a los alumnos (n= 47, distribuidos en los semestres 2006-1, 2006-2 y 2007-1) que contestaran el cuestionario siguiente, cuya finalidad era evaluar la viabilidad de la implementación de este tipo de técnicas en el laboratorio y su impacto en la formación del alumno:

1. La mayor ventaja que presenta la utilización de métodos analíticos a microescala es su:
 - a) Precisión y exactitud.
 - b) Bajo costo en reactivos.
 - c) Bajo impacto ecológico.
 - d) Uso de materiales pequeños.
 - e) Facilidad de aplicación.
2. La mayor desventaja que presenta la utilización de métodos analíticos a microescala es que:
 - a) Son poco precisos y exactos.
 - b) Son difíciles de manejar.
 - c) Utilizan materiales pequeños en volumen.
 - d) No son métodos oficiales.
 - e) Sólo son útiles para materias primas.

Usted ha aplicado y validado métodos analíticos a escala convencional y a microescala. En relación con lo expresado:

3. El aprendizaje del fundamento teórico del método utilizando microescala, en comparación con los métodos convencionales fue:

- a) Muy difícil.
- b) Difícil.
- c) Igual.
- d) Fácil.
- e) Muy fácil.

4. El aprendizaje del procedimiento analítico utilizando microescala, en comparación con los métodos convencionales fue:

- a) Muy difícil.
- b) Difícil.
- c) Igual.
- d) Fácil.
- e) Muy fácil.

5. El aprendizaje del manejo de datos y análisis de resultados utilizando microescala, en comparación con los métodos convencionales fue:

- a) Muy difícil.
- b) Difícil.
- c) Igual.
- d) Fácil.
- e) Muy fácil.

6. La validación de un procedimiento analítico a microescala es, en comparación con la de un procedimiento analítico convencional:

- a) Muy difícil.
- b) Difícil.
- c) Igual.
- d) Fácil.
- e) Muy fácil.

7. Al utilizar métodos analíticos a microescala, usted sentía que:

- a) Era igual a utilizar los métodos convencionales.
- b) Impactaba en menor grado al medio ambiente.
- c) Alcanzaban mejor los reactivos para sus otros compañeros.
- d) Gastaba menos tiempo en desarrollar los procedimientos.

e) Obtenía mejores resultados que con los métodos convencionales

8. Al realizar los análisis de las materias primas utilizando microescala, se sentía:

- a) Más nervioso que de costumbre.
- b) Igual que al utilizar métodos convencionales.
- c) Más inseguro que de costumbre.
- d) Confiado en los resultados.
- e) Con desconfianza en los resultados.

El cuestionario aplicado fue validado en cuanto a su confiabilidad aplicando métodos de análisis estadístico a los resultados obtenidos.

Resultados y discusión

A partir de los grupos de trabajo conformados, se generaron nuevos experimentos de análisis químico en microescala, los cuales dieron lugar a su vez a ocho tesis de licenciatura¹⁰⁻¹⁵. Los resultados de la validación cruzada con respecto al método farmacopéico, se muestran en las tablas¹⁻⁵. Como puede observarse, todos los métodos desarrollados cumplieron con los parámetros de validación establecidos, aunque sólo fue posible escalar al 10% los métodos para dipiridamol y paracetamol; esto radica principalmente en la facilidad de la técnica y el menor grado de incertidumbre asociada a la poca manipulación que sufre la muestra en estos tres métodos, comparada con procedimientos más complejos, como sería el caso de la cuantificación de óxido de zinc o de benzoil metronidazol, los cuales tienen asociado un mayor grado de incertidumbre analítica.

Con estos experimentos, se compiló un manual de prácticas^{15,16} publicado por la FES Zaragoza a través del financiamiento obtenido por parte del Programa de Apoyo a Proyectos de Innovación y Mejora de la Educación (PAPIME) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM (DGAPA). Este manual, se implementó como se describió en la metodología, en los cursos de Laboratorio de Desarrollo Analítico del 8º semestre de la Carrera de Q.F.B. de la FES Zaragoza.

Tabla 1. Resultados de la validación cruzada para el método de valoración de paracetamol¹⁰

Parámetro	Criterio de Aceptación	Resultado obtenido método FEUM	Resultado obtenido escala al 25%
Repetibilidad	C.V. < 1.5%	C.V.=0.3044	C.V.=0.9136
Exactitud	El promedio debe estar en el intervalo de 98-102%	99.14%	100.28
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 0.8914	C.V.= 0.2862
	El intervalo de confianza debe incluir al 100%	I.C. 94.14-101.01%	I.C. 96.61-100.21%
Linealidad	R ² ≥ 0.98	R ² = 0.9996	R ² = 0.9998
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 0.4641	C.V.= 0.3974
	El intervalo de confianza para la pendiente no debe incluir el valor de 0	I.C. 0.9861-1.026	I.C. 0.9986-1.0331
Precisión intermedia	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 0.6822	C.V.= 0.9136

Tabla 2. Resultados de la validación cruzada para el método de valoración de óxido de zinc¹¹

Parámetro	Criterio de Aceptación	Resultado obtenido método FEUM	Resultado obtenido escala al 25%
Repetibilidad	C.V.< 1.5%	C.V.=0.2956	C.V.=1.024
Exactitud	El promedio debe estar en el intervalo de 98-102%	98.14%	98.25%
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.5236	C.V.= 1.8754
	El intervalo de confianza debe incluir al 100%	I.C. 92.13-104.01%	I.C. 91.21-108.35%
Linealidad	R ² ≥ 0.98	R ² = 0.9825	R ² = 0.9807
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.4222	C.V.= 1.5874
	El intervalo de confianza para la pendiente no debe incluir el valor de 0	I.C. 0.9761-1.045	I.C. 0.9767-1.0412
Precisión intermedia	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.4258	C.V.= 1.9456

Tabla 3. Resultados de la validación cruzada para el método de valoración de benzoil metronidazol¹²

Parámetro	Criterio de Aceptación	Resultado obtenido método FEUM	Resultado obtenido escala al 25%
Repetibilidad	C.V.< 1.5%	C.V.=1.0296	C.V.=1.2151
Exactitud	El promedio debe estar en el intervalo de 98-102%	98.21%	98.56%
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.2125	C.V.= 1.7541
	El intervalo de confianza debe incluir al 100%	I.C. 95.22-104.74%	I.C. 96.21-103.74%
Linealidad	R ² ≥ 0.98	R ² = 0.9908	R ² = 0.9885
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.3254	C.V.= 1.6574
	El intervalo de confianza para la pendiente no debe incluir el valor de 0	I.C. 0.9861-1.0233	I.C. 0.9874-1.0203
Precisión intermedia	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.3221	C.V.= 1.2265

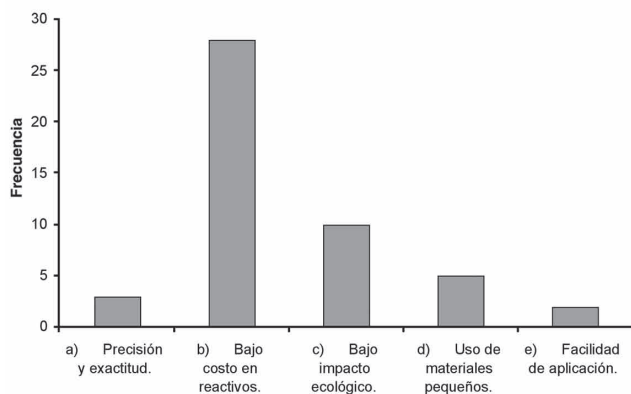
Tabla 4. Resultados de la validación cruzada para el método de valoración de citrato de oxolamina¹³

Parámetro	Criterio de Aceptación	Resultado obtenido método FEUM	Resultado obtenido escala al 25%
Repetibilidad	C.V.< 1.5%	C.V.=1.2145	C.V.=1.5281
Exactitud	El promedio debe estar en el intervalo de 98-102%	98.25%	98.76%
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.2145	C.V.= 1.5325
	El intervalo de confianza debe incluir al 100%	I.C. 95.22-104.74%	I.C. 96.21-103.74%
Linealidad	R ² ≥ 0.98	R ² = 0.9908	R ² = 0.9885
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.3254	C.V.= 1.6574
	El intervalo de confianza para la pendiente no debe incluir el valor de 0	I.C. 0.9785-1.0254	I.C. 0.9648-1.042
Precisión intermedia	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.5352	C.V.= 1.6556

Tabla 5. Resultados de la validación cruzada para el método de valoración de dipiridamol¹⁴

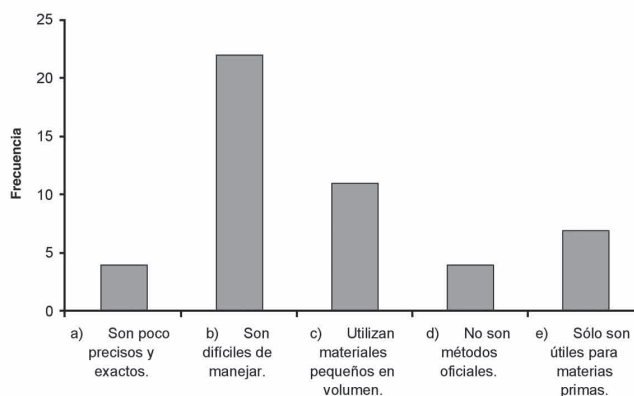
Parámetro	Criterio de Aceptación	Resultado obtenido método FEUM	Resultado obtenido escala al 10%
Repetibilidad	C.V.< 1.5%	C.V.=1.2145	C.V.=1.5281
Exactitud	El promedio debe estar en el intervalo de 98-102%	99.35%	98.54%
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.5643	C.V.= 1.6543
	El intervalo de confianza debe incluir al 100%	I.C. 98.50-104.42%	I.C. 98.43-102.76%
Linealidad	R ² ≥ 0.98	R ² = 0.9846	R ² = 0.9832
	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.0026	C.V.= 1.7896
	El intervalo de confianza para la pendiente no debe incluir el valor de 0	I.C. 0.9850-1.0412	I.C. 0.9648-1.042
Precisión intermedia	C.V. ≤ 2.0%	C.V.= 1.5432	C.V.= 1.8976

En lo referente a la implementación de técnicas a microescala en el laboratorio de Desarrollo Analítico y su evaluación por parte de los alumnos, los resultados indican que la mayor ventaja (Figura 1) que detectan ellos con la utilización del uso de procedimientos analíticos a microescala es el abatimiento de los costos de las prácticas (58.33%), seguida por una disminución en el impacto ecológico generado por sus experimentos (20.83%). En cuanto a las desventajas (Figura 2), la principal detectada por el 48.3% de los estudiantes es que son difíciles de manejar, seguida por un 22.91% de estudiantes que consideran que la dificultad radica en el uso de materiales como microburetas, micropipetas, microbalanzas, etc., con los cuales se requiere mayor precisión en el trabajo analítico.


Figura 1. Ventajas del uso de la microescala que detectan los alumnos al utilizarla

En lo referente a la simplicidad o complejidad para abordar los fundamentos teóricos del procedimiento analítico, 68.75% de los estudiantes consideraron igual o aún más fácil aprender utilizando técnicas en microescala. Esto podría deberse a que, al lograr una mayor concentración en la novedad del procedi-

miento, se genera mayor interés por parte del alumno, haciendo más participativo el aprendizaje (Figura 3). Este análisis parece resultar más cercano a la realidad cuando se considera que, de acuerdo con lo expresado en la Figura 4, más del 83% de los estudiantes consideraron aprender el componente experimental del procedimiento analítico con la misma dificultad o aún menor que con el uso de técnicas a escala convencional. Por otra parte, en la Figura 5, puede observarse que mientras un 23% de los alumnos consideran que el manejo de datos utilizando microescala es más difícil, 37.5% consideran que es más fácil en comparación con el manejo convencional. Casi un 40% no considera que haya diferencias en el manejo estadístico de los datos, condición deseable ya que, independientemente del manejo experimental, el análisis de los resultados sigue las mismas pautas comunes en cualquier experimentación de este tipo.


Figura 2. Desventajas del uso de la microescala que detectan los alumnos al utilizarla

Resultan de especial interés los resultados mostrados en la Figura 6, ya que más del 54% de los estudiantes consideraron más difícil validar un método a microescala que uno en escala convencional. Esto es importante, dado que este tipo de procedimientos exigió un mayor esfuerzo experimental, mayor acuciosidad en la operación de equipos y un elevado énfasis en el análisis de los resultados, llevando al alumno a un mayor grado de complejidad y profundidad en la adquisición de conocimientos. Esta situación resulta adecuada para un estudiante de octavo semestre, que ya está próximo a egresar de la licenciatura, y requiere la resolución de problemas más complejos que le brinden un mayor número de herramientas teóricas y metodológicas para su futuro desempeño profesional.

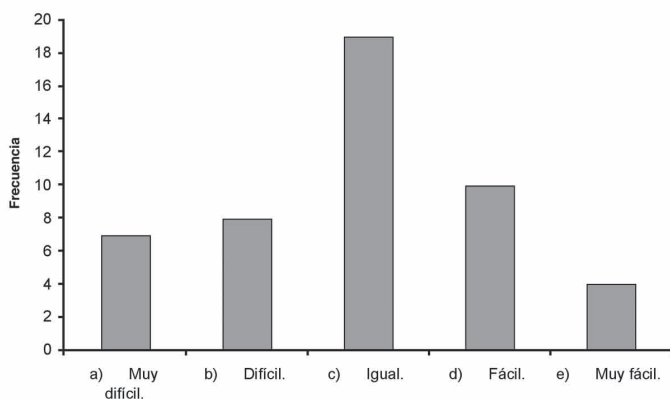


Figura 3. Percepción de la simplicidad del aprendizaje teórico utilizando métodos en microescala

La formación profesional del farmacéutico no sólo debe considerar aspectos técnicos y científicos; uno de sus componentes principales es la transmisión de valores que impacten el desarrollo del ser humano. En este sentido, la Figura 7 muestra que, para más del 58% de los estudiantes, se presentaba la transmisión de los valores ya sea de respeto al ambiente (respuesta B) o de colaboración con otros miembros del grupo (respuesta C). Resulta importante recalcar, que la preocupación por la ecología es cada vez mayor entre los estudiantes del nivel superior, por lo que resulta indispensable brindarles herramientas formativas que los lleven a subsanar esta necesidad de pertenencia a un entorno natural.

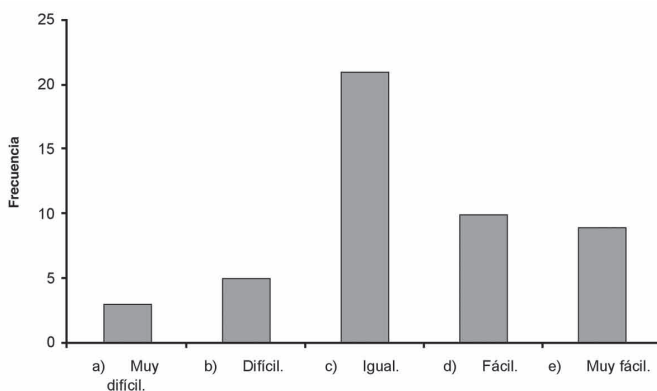


Figura 4. Percepción de la simplicidad del aprendizaje práctico utilizando métodos en microescala

En lo referente a la conformación de actitudes en el estudiante, en la Figura 8 se muestra que existe un problema que requiere atención al momento de aplicar este tipo de técnicas en los grupos de estudiantes, ya que casi en un 67% se generaron sentimientos de desconfianza, inseguridad o nerviosismo por los resultados obtenidos; si bien esto puede tener un origen multifactorial, deberá ponerse énfasis en evitar en un momento la diferenciación o el prejuicio acerca del uso de equipos de mayor sofisticación o precisión en el análisis.

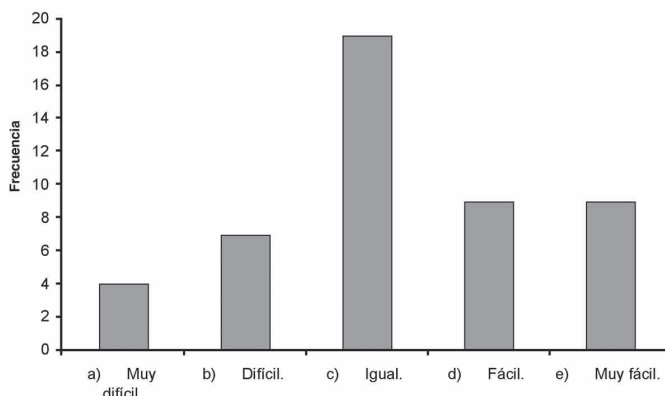


Figura 5. Percepción de la simplicidad del aprendizaje del manejo de datos y análisis de resultados utilizando métodos en microescala

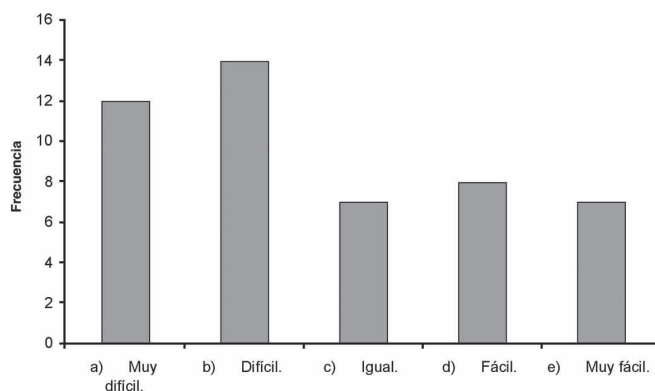


Figura 6. Percepción de la simplicidad de validación utilizando métodos en microescala

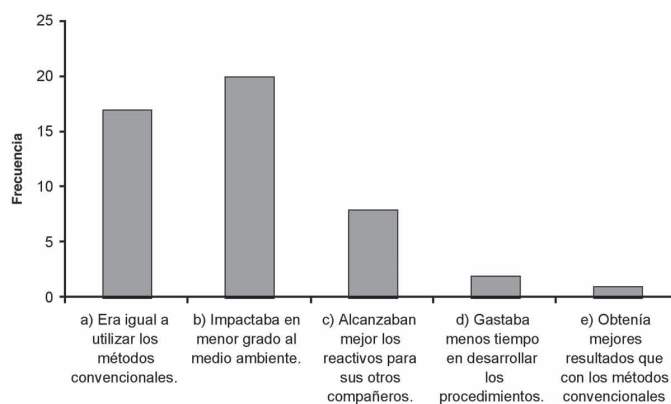


Figura 7. Percepción valoral con el uso de procedimientos analíticos a microescala

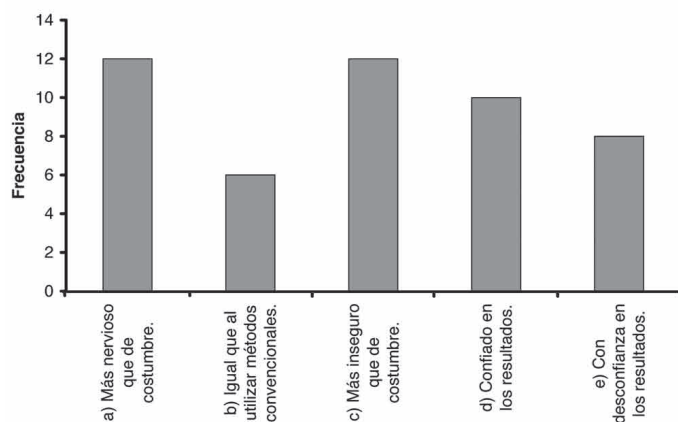


Figura 8. Percepción actitudinal con el uso de procedimientos analíticos a microescala

Conclusiones

Este es el primer estudio realizado en esta área del conocimiento reportado a nivel nacional. Con base en los resultados obtenidos, se concluye que se logró realizar un aporte en la innovación en la enseñanza de la Química Experimental, la optimización de los recursos y la disminución de las emanaciones contaminantes al ambiente, a través de la implementación de técnicas de Química en Microescala en el laboratorio de Desarrollo Analítico del 8º semestre de la Carrera de Q.F.B, enfatizando la promoción de valores en el estudiante y la generación de actitudes positivas, que favorezcan su aprendizaje y formación para su futuro desempeño laboral. De manera general, es posible asegurar que la implementación de técnicas en microescala en la enseñanza experimental del desarrollo de métodos de análisis permite mantener la calidad de la formación del profesional farmacéutico, y puede considerarse como una de las estrategias encaminadas a responder a la cada vez más considerable disminución de los recursos destinados a la educación superior en México.

Referencias bibliográficas

1. <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=medu36&c=7552>. Consultada el 15 de marzo de 2007.
2. <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=medu03&c=3270>. Consultada el 15 de marzo de 2007.
3. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. (2003). Plan de estudios de la licenciatura en Química Farmacéutico Biológica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
4. Szafran Z., Pike R., Singh M. (1991). *Microscale Inorganic Chemistry*. John Wiley and Sons, Philadelphia, USA. pp. 15-28.
5. Torres E., Castellón J. (2000). Minimización del impacto ecológico empleando microescala en laboratorios de enseñanza Química. *Educación Química*, 11(2): 27-36.
6. Ibáñez J. (2000). La Química en microescala en México. Hacia un panorama general. *Educación Química* 11(1): 34-46.
7. Cooper, M., Kerns, T. (2006). Changing the laboratory: effects of a laboratory course on student's attitudes and perceptions. *Journal of Chemical Education*. 83(9): 1356-1361.
8. Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. (2005). *Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos*. 8ª Edición. Secretaría de Salud, México.
9. U.S. Department of Health and human Services, FDA. (2000). Guidance for industry: Analytical procedures and methods validation; chemistry, manufacturing and controls documentation. *Food and Drug Administration*, Rockville, USA.
10. Belmont A. (2005). Diseño, desarrollo y validación de un método analítico para la valoración en microescala de paracetamol por espectrofotometría ultravioleta. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México, D.F.
11. Espidio E. (2005). Diseño, desarrollo y validación de un método analítico para la valoración en microescala de óxido de zinc. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México, D.F.
12. Ramírez, H. (2006). Diseño, desarrollo y validación de un método potenciométrico analítico para la valoración de benzoil metronidazol a microescala. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México, D.F.
13. Ortega O. (2005). Desarrollo y validación de un método analítico en microescala para cuantificación de citrato de oxolamina. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México, D.F.
14. Solís K. (2005). Desarrollo y validación de una técnica en microescala para la valoración potenciométrica de dipiridamol. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México, D.F.

15. De Lara C. (2005). Elaboración de un manual de prácticas a microescala para Química Analítica. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México, D.F.
16. De Lara C., Hernández V., Sánchez E., Mora L. (2006). Manual de procedimientos analíticos a microescala para Química Analítica. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México, D.F.

Reconocimientos

Este trabajo fue apoyado en su totalidad con recursos del Proyecto PAPIME EN-215403 Implementación de técnicas en microescala en la enseñanza experimental de la Química en los laboratorios de docencia de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Los autores agradecen particularmente a los árbitros que revisaron este artículo por sus invaluable observaciones y aportaciones para mejorar la calidad del mismo.