

# Minimización del impacto ecológico empleando microescala en los laboratorios de enseñanza Química

Esperanza Torres Espinosa y Juan Pedro Castellón Santa Anna\*

## Abstract

The Department of Analytical Chemistry of the Autonomous University of Nuevo Leon School of Medicine teaches seven theoretical courses combined with laboratory practices to undergraduate students majoring in Clinical Chemistry. We have modified our traditional chemical laboratory practices to upgrade them into a semi-micro and microscale level. Our goal was three-fold. We wanted *a)* to optimize resources, *b)* to reduce waste production, and *c)* to promote care for the environment, in addition to enhance laboratory safety. Our results include 1) reduction on both reagent volume spent, and chemical concentration in effluents in a range of 22.0 to 97.0%, and 2) substitution of highly toxic reagents by other less toxic ones without affecting either the experimental results or the teaching-learning process. Student self-motivation to participate on the development of new experimental microscale materials was notorious. We have been able to modify 23.0% of the total laboratory practices offered by our Department.

## Resumen

El Departamento de Química Analítica de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León imparte siete materias que cursan con laboratorios a los estudiantes de la carrera de Químico Clínico Biólogo. Hemos modificado nuestras prácticas de laboratorio tradicionales para implementarlas al nivel de semimicro y microescala. Se persigue alcanzar con la implementación de los nuevos procedimientos: *a)* optimizar recursos; *b)* reducir la generación de residuos, y *c)* promover la cultura ecológica además de incrementar la seguridad en el laboratorio. Nuestros resultados incluyen: 1) la reducción en el volumen de reactivos y concentración química en un rango del 22.0% al 97.0%, y 2) la sustitución de reactivos tóxicos por otros de menor toxicidad sin menoscabo en la calidad de los resul-

tados experimentales ni del proceso enseñanza-aprendizaje el cual fue favorecido por la participación de los estudiantes en la construcción de materiales para la experimentación a microescala. Hemos podido modificar el 23.0% del total de las prácticas de laboratorio impartidas en nuestro Departamento.

## Introducción

Los asuntos ecológicos cada día adquieren mayor relevancia. En la actualidad son parte de los modelos educativos en nuestro país por lo que las universidades cada vez los tratan con mayor énfasis debido a que son generadoras, en menor escala, de desechos y residuos peligrosos que incrementan el problema de la contaminación ambiental.

En aquellas universidades donde se enseñan profesiones relacionadas con el área Química, el problema de la contaminación ambiental se ve incrementado. Para solventarse, se han probado diversas estrategias que van desde el reciclaje de los componentes de los desechos (Santos, 1996; Flores, 1996), tratamiento de los mismos (Soto, 1996), hasta la sustitución por reactivos menos peligrosos.

Recientemente se ha desarrollado una nueva estrategia para salvar el problema anterior. Esta estrategia consiste en *reducir los niveles de experimentación* a valores de 1 g para sólidos y 2 mL para líquidos como máximo —más exactamente, de 25 a 150 mg para sólidos y 100 a 2000  $\mu$ L para líquidos—. A esta estrategia se le ha denominado *experimentación a nivel microescala* (Mainero, 1997).

Las técnicas a nivel microescala cada día adquieren mayor relevancia en la enseñanza experimental de la Química, debido a que favorecen aspectos de seguridad e higiene, son económicas, ecológicas y sobre todo didácticas. Se tiene conocimiento de que la experimentación a nivel de microescala se aplica en países como Estados Unidos, Alemania, Finlandia, Rusia, Egipto y, por supuesto, México.

El Departamento de Química Analítica de la Facultad de Medicina de la UANL, tiene implementado desde 1994 un programa encaminado a la *Minimización de Residuos Peligrosos* generados en los laboratorios de enseñanza. En este programa par-

\* Departamento de Química Analítica, Facultad de Medicina, UANL, Apdo. Postal 1563, Monterrey, NL, México.  
E-mails: etorres@ccr.dsi.uanl.mx y jcastrel@ccr.dsi.uanl.mx

**Cuadro 1.** Generación de residuos por materia durante un semestre.

Materia	Cantidad generada (litros aprox.)
Física	10
Química Analítica I	40
Fisicoquímica I	35
Fisicoquímica II	40
Química Analítica II	50
Análisis Instrumental	50
Análisis Bromatológicos	50

Primera etapa del Programa de Minimización de Residuos.

ticipan activamente maestros, becarios, alumnos y personal técnico de apoyo. Uno de los objetivos dentro del programa es el de realizar ensayos a semimicro y microescala en aquellas prácticas que sean factibles de minimizar, sin alterar en la medida de lo posible los objetivos de cada experimento.

Este trabajo pretende mostrar los avances y las experiencias logradas en el desarrollo de técnicas a semimicro y microescala, mismas que han favorecido la minimización de los residuos que se generan en los laboratorios de nuestro Departamento.

### Metodología

El trabajo se realizó en tres etapas. En la primera, cada maestro estimó la cantidad de residuos promedio generado en los laboratorios de los cursos de Física, Fisicoquímica I y II, Química Analítica I y II, Análisis Instrumental y Análisis Bromatológicos en un ciclo escolar. En la segunda, se seleccionaron las prácticas factibles de minimización en cada una de estas materias, se propusieron cambios en la escala de experimentación y posteriormente se probaron y evaluaron los cambios propuestos. Finalmente, se

desarrollaron o adaptaron nuevos procedimientos a nivel microescala en sustitución de prácticas que no fueron factibles de minimización.

### Resultados y discusión

El Departamento imparte un total de 10 materias a nivel de pregrado en la carrera de Químico Clínico Biólogo, 70% de ellas se cursan en laboratorios donde se generan desechos. El cuadro 1 presenta las cantidades generadas de residuos por laboratorio durante un ciclo escolar, es decir, un semestre.

El porcentaje de prácticas que se incorporaron al Programa de Minimización, fue de un 23.0%. El 18% de ellas corresponden a prácticas que llegaron al nivel de microescala y el restante 81% quedó a un nivel de semimicroescala (cuadros 2 y 3).

Se desarrollaron e implementaron nuevas prácticas a nivel de microescala tomadas de experiencias de otros autores (Szafran, 1992; Brower, 1991; Schwartz, 1992; Silberman, 1996), las cuales se incorporaron a los programas de las materias (cuadro 4).

Estos cambios han repercutido en una disminución del impacto ecológico que se tenía, debido a que se ha logrado reducir la generación de residuos en un rango que va de un 22.0 a un 97.0% según la materia.

Desde el punto de vista pedagógico, hemos logrado llamar la atención del estudiante al cuidado de su entorno, mediante el desarrollo de habilidades y en el cuidado y manejo de sustancias químicas. Al efectuar los cambios en la escala de experimentación, se aprecia un incremento en el interés del estudiante por observar más detenidamente el fenómeno que se está demostrando en cada experimento, logrando con ello una mayor protección en su exposición a sustancias peligrosas y un incremento en el ejercicio de su capacidad analítica.

**Cuadro 2.** Prácticas seleccionadas factibles de minimización.

Materia	Total de prácticas	Prácticas elegidas	% de elección
Física	16	2	12.5
Química Analítica I	23	6	26.1
Fisicoquímica I	10	2	20.0
Fisicoquímica II	13	2	15.4
Química Analítica II	26	5	19.2
Análisis Instrumental	18	5	27.8
Análisis Bromatológicos	33	6	18.2

Segunda etapa del Programa de Minimización de Residuos.

**Cuadro 3.** Prácticas modificadas a niveles de semimicro y microescala.

Práctica	Nivel de modificación		% de reducción
	semimicro	microescala	
<i>Física</i>			
1. Determinación de la densidad	✓		60.0
2. Comparación visual	✓		50.0
<i>Química Analítica I</i>			
1. Reacciones características del 1er. grupo de cationes	✓		50.0
2. Separación del 1er. grupo de cationes	✓		50.0
3. Reacciones características del 2do. grupo de cationes	✓		50.0
4. Separación del 2do. grupo de cationes	✓		50.0
5. Reacciones características del 3er. grupo de cationes	✓		50.0
6. Separación del 3er. grupo de cationes	✓		50.0
<i>Fisicoquímica I</i>			
1. Coeficiente de distribución	✓		50.0
2. Determinación espectrofotométrica de una constante de equilibrio	✓		45.0
<i>Fisicoquímica II</i>			
1. Destilación de una mezcla azeotrópica	✓		90.0
2. Cinética del sistema perdisulfato-yoduro	✓		88.9
<i>Química Analítica II</i>			
1. Preparación y estandarización de una solución de HCl 0.01 Normal		✓	62.7
2. Preparación y estandarización de una solución de NaOH 0.01 Normal		✓	63.3
3. Determinación de una mezcla de ácidos fuerte y débil		✓	34.0
4. Preparación y cuantificación de una solución de KMnO <sub>4</sub> 0.01 Normal		✓	67.3
5. Preparación y estandarización de una solución de yodo 0.03 Normal		✓	30.0
<b>A. INSTRUMENTAL</b>			
1. Efecto de la monocromacia sobre los espectros de absorción	✓		97.0
2. Gráficas de Ringbom: Determinación del error analítico para un sistema que cumple con la Ley de Beer	✓		75.0
3. Espectrofotometría diferencial	✓		75.0
4. Polarimetría: Determinación de carbohidratos en refrescos embotellados	✓		50.0
5. Refractometría: Aplicaciones analíticas de la medición del índice de refracción	✓		50.0
<b>A. BROMATOLÓGICOS</b>			
1. Determinación de proteínas en alimentos	✓		50.0
2. Determinación del grado de acidez en aceites y mantecas	✓		50.0
3. Índice de saponificación	✓		50.0
4. Índice de yodo	✓		50.0
5. Determinación de peróxidos	✓		50.0
6. Índice de Reichert Meissl e índice de Poleske	✓		50.0

Segunda etapa del Programa de Minimización de Residuos.

**Cuadro 4.** Nuevas prácticas generadas e implementadas a nivel de microescala.

Materia	Práctica
Física	1. Determinación de la densidad mediante el empleo de un micropicnómetro 2. Determinación de la viscosidad empleando un viscosímetro Ostwald a microescala
Fisicoquímica I	1. Leyes de los gases 2. Calorimetría: Determinación de los calores de reacción 3. Ley de Hess 4. Efecto de la constante de equilibrio y la $\Delta G$

Tercera etapa del Programa de Minimización de Residuos.

En el aspecto económico, el ahorro ha sido muy notorio ya que los costos de inversión en reactivos ha disminuido hasta un 60.0%. Sin embargo, se tiene la desventaja de que se requiere material especial y equipos de medición mucho más precisos como serían microburetas graduadas, micropipetas automáticas, microdigestores Kjendahl, equipos de microdestilación, etcétera, que incrementan los costos. No obstante, comprobamos que el ingenio de los estudiantes no tiene límites pues lograron construir diversos materiales como micropicnómetros y viscosímetros tipo Ostwald, entre otros, que permitieron abatir los costos de inversión en la adquisición de estos materiales.

Comprobamos que existen ventajas al reducir la escala de experimentación a nivel de microescala en las prácticas de laboratorio y observamos un incremento en la seguridad del estudiante al exponerse a

menores cantidades de residuos peligrosos por lo que, en la búsqueda de resultados óptimos, continuaremos trabajando en este programa en el cual corroboramos que:

$$\text{Aprendizaje} + \text{Microescala} = \\ - \text{Residuos Peligrosos} + \text{Seguridad}.$$

### Bibliografía

- Brower, H., Small-scale thermochemistry experiment, *J. Chem. Educ.*, **68**[7], A178-181 (1991).
- Flores, H.; Caballero Arroyo, Y., El reciclaje, opción para el manejo de residuos sólidos, *Rev. Soc. Quím. Méx.*, **40** [Número especial], 125 (1996).
- Mainero, R.M., ¿Por qué microescala? *Educ. quim.*, **8**[3], 166-167 (1997).
- Santos, E.; Gavián, I.C.; Korkowski, I. y Benitez, C., El cuidado del ambiente en la enseñanza integral de la Química Orgánica, *Rev. Soc. Quím. Méx.*, **40**[6], 275-280 (1996).
- Schwartz, M.H. Microscale distillation-calculations and comparasions. *J. Chem. Educ.*, **68**[5], A127-128, 1992.
- Silberman, R.G., Solubility and thermodynamics: An introductory experiment, *J. Chem. Educ.*, **73**[5], 426-427 (1996).
- Soto, V., Federico; Obaya V., A. y Guerrero, C., Almacenamiento y manipulación de los residuos peligrosos, *Rev. Soc. Quím. Méx.*, **40**[5], 220-229 (1996).
- Szafran, Z.; Pike, R.M.; Foster, J.C., *Microscale General Chemistry Laboratory: With Selected Macroscale Experiments*. John Wiley & Sons, New York, 1993.