

EL DESAFÍO DE LA CALIDAD: UN MENSAJE PEDAGÓGICO BÁSICO PARA EL TRABAJO EXPERIMENTAL EN QUÍMICA ANALÍTICA

MANTOVANI, VÍCTOR E., RODIL, BEATRIZ, CÁMARA, MARÍA S., DE ZAN, MERCEDES, ROBLES, JUAN C. y GOICOECHEA, HÉCTOR C.

Departamento de Química. Química Analítica. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral. Ciudad Universitaria. CC 242 (3000) Santa Fe. Argentina
vmantova@fbc.unl.edu.ar

Resumen. El trabajo se orienta hacia el logro del mejoramiento de la enseñanza experimental en el laboratorio de química analítica y se realiza desde el modelo de la investigación-acción. La química analítica es una actitud intelectual y se la considera una disciplina científica; la enseñanza de su teoría y de la programación del análisis mediante la aplicación del proceso analítico tiene, como objetivo pedagógico básico, generar una actitud intelectual. Se presenta un enfoque conceptual del proceso analítico total para la enseñanza experimental, orientada para que el estudiante aprenda a obtener información analítica de calidad. Se reúnen y evalúan diferentes prácticos en el laboratorio, de complejidad creciente, analizándose los resultados de las experiencias. El desafío pedagógico invita a revisar con profundidad la concepción sobre la educación permanente en química analítica y, en particular, del trabajo experimental, dado que las nuevas tecnologías sufren rápidos cambios y generalmente no son utilizadas en su máximo rendimiento.

Palabras claves. Química analítica, prácticos de laboratorio, calidad en el laboratorio.

Summary. The aim of this work is to improve the experimental teaching in Analytical Chemistry Labs. It is being developed from the investigation-action model. Analytical Chemistry is an intellectual attitude. We think about it as a scientific subject. The basic pedagogic aim of teaching theory and programming the analysis applying the analytical process is to incorporate it into mental structures. A conceptual approach to complete analytical process in experimental teaching is shown. The student is guided to obtain qualified analytical information. Different practical works of increasing complexity are gathered and evaluated. The results of these experiences are analysed. The pedagogic challenge is to revise thoroughly the understanding of everyday teaching in Analytical Chemistry. Specially experimental work, since new technologies undergo quick changes and they are not always efficiently applied.

Keywords. Analytical chemistry, labs practice, qualified results.

INTRODUCCIÓN

Si se tiene en cuenta que, en última instancia, el objetivo de la química analítica es obtener y proveer información (bio)química acerca de un objeto dado o sistema que se analiza, como respuesta a una necesidad social, médica, industrial, científica o técnica, es evidente que muchas decisiones relacionadas, por ejemplo, con el manejo del medio ambiente, la salud, la calidad y la seguridad de los productos alimenticios y farmacéuticos y las investigaciones forenses dependen de esa información. Grasserbauer (1993) estimaba que, por año, se generaban en el mundo diez mil millones de datos analíticos. Resulta obvio, por

otra parte, que el costo del error del análisis químico puede ser enorme (Quevauviller, 1999). Basta tener en cuenta el significado económico y de tiempo que representa la repetición de los análisis, el compromiso por juicios legales y la realización de asesoramientos y decisiones equivocadas basados en datos erróneos.

De estas consideraciones surgen dos aspectos importantes. El primero, y como imperativo, está relacionado con la calidad de los laboratorios analíticos, calidad que debe ser demostrada y acreditada para satisfacer las necesida-

des de los usuarios y atraer su confianza. El segundo comprende el campo de la educación: la calidad en el resultado analítico debe enseñarse a partir del mismo instante en que el estudiante comienza su aprendizaje en la metodología analítica. Nos estamos refiriendo a los cursos básicos de química analítica, como los desarrollados en la carrera de grado de la mayoría de las universidades.

Valcárcel (1992, 1999) escribió que la química analítica está compuesta de tres partes, esenciales y dinámicamente relacionadas: *a)* investigación y desarrollo básico y aplicado; *b)* el arsenal de técnicas y métodos formalmente referidos como «análisis químico»; y *c)* educación. Estableció que la calidad analítica se materializa en un conjunto de propiedades, a las cuales definió muy claramente, caracterizándolas en supremas, básicas, complementarias y otras, y vinculándolas a través de relaciones jerárquicas.

En el Simposio Cibernético realizado por la Asociación Argentina de Químicos Analíticos (AAQA), se planteó la necesidad de reflexionar sobre la enseñanza de la química analítica en las universidades argentinas (Mantovani et al., 2000), constituyéndose una comisión con ese objetivo al realizarse las Primeras Jornadas Nacionales de la AAQA en la ciudad de Rosario, en diciembre de 2001.

El presente trabajo continúa esta línea dentro de la investigación educativa que realiza el grupo de cátedra, orientada hacia el logro del mejoramiento de la enseñanza experimental en el laboratorio de química analítica, a nivel de grado universitario. Se realiza en el marco del modelo de la investigación-acción, en la que el docente reflexiona sobre su acción y estudia con un enfoque sistemático la propia situación, abordada a través de la práctica misma (Elliot, 1991, 1993).

EL PENSAMIENTO ANALÍTICO

Entendemos la química analítica como una actitud intelectual, una manera de enfrentar los desafíos de un problema analítico, y la consideramos una disciplina científica cuya médula del razonamiento es el análisis: conocer —a veces con previa separación— las partes de cada sistema, para inferir acerca de él. Newton dijo (Malissa, 1993): «Como en matemáticas, también en física, la exploración de cuestiones difíciles debe ser precedida por un método que es llamado analítico y se aplica previo al llamado método sintético». Malissa escribe que el análisis es la única herramienta para: *a)* clasificación de la relación hecho-causalidad; *b)* cualquier conclusión (juicio) y verificación de su veracidad; *c)* cualquier pronóstico y retrognosis en ciencias naturales. Esto implica una manera de pensar muy peculiar, la que por aproximaciones o caminos multifacéticos busca obtener información de sistemas materiales, dentro de una concepción armoniosa de ciencia y arte.

Para nosotros, Booksh y Kowalski (1994) han sido quienes con más fuerza y claridad conceptual han señalado que existe una teoría de la química analítica, que complementa las teorías que devienen de la física y de la química, habilitándola realmente como una rama de la ciencia. Sostie-

nen: «En este trabajo mostramos que hay una teoría que guía la química analítica. Esta teoría puede ser usada para especificar exactamente qué información puede ser extraída (obtenida) de los datos producidos por cualquier instrumento o método analítico. También puede ser usada para guiar a los químicos analíticos a fin de optimizar las herramientas analíticas existentes y dirigir a los investigadores analíticos tratando de producir herramientas más poderosas.»

Transmitir en la enseñanza esta concepción, con el fin de traducirla en una actitud intelectual, implica hacerlo a través del doble haz de la teoría y el trabajo en el laboratorio. Es esa estructura de pensamiento la que da vida a la química analítica enteramente por sí misma y no como parte o sección de otras (sub)disciplinas. Esto genera una sólida posición frente al debate que surge de la concepción de muchos científicos y académicos, que consideran los métodos analíticos como simples instrumentos de oficio; o sea, la química analítica como mero apoyo para la ciencia (Kissinger, 1992). También amplía el debate acerca de la extensión de los currículos y de la metodología de la enseñanza experimental (Christian, 2000; National Science Foundation, 1997).

LA ENSEÑANZA EN EL LABORATORIO

La enseñanza de la teoría de la química analítica y la programación del análisis mediante la aplicación del proceso analítico tiene, como objetivo pedagógico básico, incorporar este proceso en las estructuras mentales y, de esta manera, mediante su planificación conciente, evitar improvisaciones e indecisiones que conspiran contra la calidad del trabajo en el laboratorio.

Por eso, nuestros objetivos en la enseñanza del trabajo experimental de la química analítica, tendiendo a un claro mejoramiento, son:

I. En general:

a) Generar el ámbito y hábito de pensar estratégicamente: planificar y responder creativamente a situaciones nuevas; *b)* alcanzar la comprensión global del proceso analítico, cimentada con una sólida formación teórica básica; *c)* fortalecer la autonomía en la toma de decisiones y disciplina en el trabajo; y *d)* despertar la conciencia acerca de criterios de calidad y desempeño.

II. En particular:

a) Introducir al estudiante en la planificación de un análisis como proceso analítico, para lograr mediciones fiables de parámetros químicos y ofrecer los resultados requeridos; *b)* definir las características generales y particulares de cada proceso analítico desarrollado; y *c)* aplicar cada proceso analítico a distintos ejemplos.

Nos proponemos comprobar, en la enseñanza experimental de la química analítica, que el logro de las propiedades analíticas supremas, exactitud y representatividad, garantizan la calidad del resultado de un análisis. Se pretende

alcanzar este objetivo mediante la enseñanza de la excelencia en el trabajo experimental, orientando al estudiante a que obtenga información analítica de calidad y a que encuentre, de este modo, la relación inextricable entre la calidad de los resultados y la calidad del proceso analítico.

El buen trabajo en el laboratorio es fundamental para alcanzar con plenitud las propiedades antes mencionadas. Al buen trabajo contribuyen, el desempeño personal, los métodos analíticos seleccionados y las herramientas analíticas utilizadas: aparatos, analizadores, dispositivos y reactivos disponibles. La base del mismo es su planificación. La planificación y su desarrollo deben quedar documentados y archivados, requiriéndose un entrenamiento para que este proceso sea completo, posibilitando de esta manera la rastreabilidad del resultado.

Desde el punto de vista de la enseñanza-aprendizaje del proceso analítico, se observa la necesidad de graduar las dificultades y, en consecuencia, graduar la exigencia de calidad del resultado, aumentándolas paulatinamente. Sin embargo, es prioritario considerarla con el estudiante desde el primer momento, permitiendo la internalización de estos conceptos a medida que comprenda su valor científico y su impacto en la sociedad. Por estos motivos, el conocimiento sistemático del proceso analítico total permite al

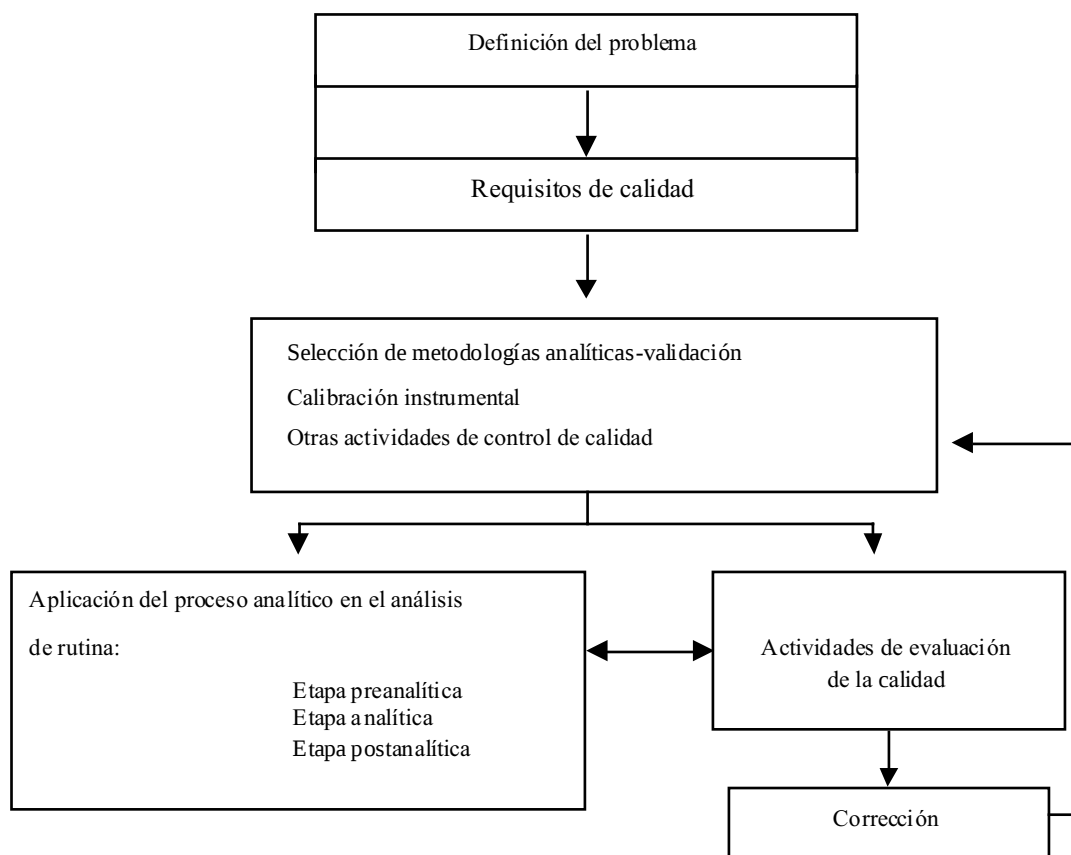
alumno establecer un camino metodológico con la comprensión didáctica de un esquema de trabajo.

En el esquema 1, se resume el enfoque conceptual de la enseñanza experimental en el laboratorio de la química analítica.

El *primer paso* es la definición del problema analítico, estableciendo la diferencia entre un problema científico y uno tecnológico. Al formular tal definición quedan determinados los requerimientos o requisitos de calidad.

El *segundo paso* es realizar actividades previas de control de calidad, que incluyen: selección de la metodología analítica, calibración del instrumental, validación (cuando no se ha podido encontrar un método oficial o un método estándar). Se establece la magnitud aceptable de los errores asociados a la metodología analítica. En la validación, los parámetros o cifras de mérito a determinar son: linealidad y rango de respuesta lineal; sensibilidad (límite de detección, límite de cuantificación); precisión, exactitud y otros. Este esquema de validación depende del tipo de metodología desarrollada, según lo determinado en la definición del problema analítico y orientándola al parámetro de rendimiento más importante, el que se evaluará con mayor profundidad.

Esquema 1



El *tercer paso* surge de la reflexión sobre la aceptación del método como de buen rendimiento, sobre las bases de las actividades del segundo paso, aplicable en cualquier análisis, incluso a los de rutina. Comprende tres etapas: 1) Etapa preanalítica: buen muestreo, preparación y acondicionamiento de la muestra. 2) Etapa analítica: preparación y uso de reactivos, blancos y muestras control. Aplicación de métodos analíticos. Obtención de datos. 3) Etapa posanalítica: Tratamiento estadístico de los datos. Expresión del resultado. Informe de laboratorio.

El *cuarto paso* consiste en las actividades para asegurar la calidad, para comprobar que el funcionamiento de la metodología sigue siendo aceptable a lo largo del tiempo. Son actividades de evaluación. Pueden ser de evaluación interna de la calidad y de evaluación externa de la calidad, de acuerdo a cómo se procesan los resultados. Si se determina que se han producido desviaciones respecto del comportamiento inicialmente aceptado para la metodología implementada, habrá que volver a las actividades de control de calidad, con el fin de analizar cuáles son las fuentes adicionales de error que han aparecido, aplicándose las medidas necesarias para eliminarlas o controlarlas.

METODOLOGÍA

Este plan de enseñanza, con el enfoque metodológico descripto, se llevó a la actividad de laboratorio de práctica mediante nuevos trabajos experimentales, relativamente de tiempo mínimo pero didácticamente significativos, proponiendo situaciones verdaderamente diferentes en cada caso, y dedicando, alumnos y docentes, un tiempo a la reflexión sobre la experiencia metodológica.

Se realizaron los siguientes trabajos experimentales:

- Se prepararon medios de cultivo líquidos en dos composiciones diferentes de sacarosa y cloruro de amonio, manteniendo constante los otros nutrientes. Sembrados doce frascos de cada medio con inóculos del hongo *Aspergillus Niger*, se sometieron a agitación rotativa a 100 rpm. Se hicieron determinaciones de ácido cítrico, azúcares reductores, nitrógeno amónico, pH y biomasa sobre muestras alícuotas tomadas dentro de un período de 168 horas, comparándose la evolución de la biomasa y la producción de ácido cítrico en ambos medios (Goicoechea et al., 1997).

Con dicho sistema se realizó una práctica de toma de muestra: se diseñó constituyéndose diez grupos de trabajo, en los que se distribuyeron todos los alumnos, a los cuales se asignó un horario de toma de muestra, que se realizó cada 12 horas los tres primeros días y luego cada 24 horas, o sea un total de diez veces. Los alumnos procedieron a retirar de cada *erlenmeyer* de cultivo 3 mL de muestra, que se dispuso en tubos plásticos. Inmediatamente después del muestreo, se procedió a filtrar el contenido de los tubos sobre papel de cenizas taradas, conservándose los filtrados y residuos a -20°C hasta el momento del análisis. Los docentes efectuaron en paralelo una toma de muestra control.

- Se propuso y discutió el caso: «verificar las variables fisicoquímicas en el proceso de fermentación estática, con microorganismos aerobios sobrenadantes». La consigna general era: «emplear para su resolución únicamente la metodología ácido-base». Culminó en un práctico en el que se determinó la concentración de ácidos producidos y la cantidad de dióxido de carbono generado en la fermentación (Kubescha et al., 1999).

- Se diseñó un sistema experimental de baja complejidad, basado en la transformación de un medio azucarado por acción de una levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), en anaerobiosis. El procedimiento consistió en: a) definir las condiciones iniciales de operación del biorreactor: composición del medio, concentración inicial del microorganismo, pH, velocidad de agitación, tiempo de extracción de muestras; b) valorar, a través del tiempo, los cambios de concentración del sustrato (azúcar) y de sustancias producidas (etanol, dióxido de carbono, amonio, etc.), y el crecimiento de microorganismos. Las conclusiones permitieron caracterizar el proceso (Eluk et al., 2000).

- Se usó un sistema denominado comúnmente kombucha, que consiste en la combinación de una levadura (*Schizosaccharomyces pombe*) y una bacteria (*Acetobacter xylinum*), cultivados con glucosa y té. El sistema produce metabolitos, entre ellos varios ácidos orgánicos, que se cuantifican junto con la variación de biomasa y consumo de sustrato. Es un sistema muy simple, fácil de manipular, resistente a la contaminación e inocuo. Para estudiar la evolución de este bioproceso durante siete días, se realizaron las siguientes determinaciones en diferentes tiempos prefijados: pH, acidez, glucosa, biomasa inicial y final (Goicoechea et al., 2000).

- Evaluación de parámetros de funcionamiento-validación.

Linealidad

Para este práctico se trabajó con el sistema mencionado en último término y teniendo en cuenta que durante el estudio se siguió el consumo de glucosa. Antes de comenzar a obtener valores sobre las muestras recolectadas, se analizó la linealidad del método mediante la construcción de una curva de calibrado. Para la determinación de glucosa se utilizó una técnica enzimática espectrofotométrica con un equipo comercial. Los datos sobre las muestras patrones y blancos de reactivos se procesaron usando un programa de computación, mediante la aplicación de regresión lineal ordinaria y se obtuvo la gráfica de señal *versus* concentración. A partir de la información que suministra la salida del programa, los alumnos juzgan la bondad de ajuste realizado y determinan el rango de respuesta lineal.

Adición estándar

Posteriormente, y siguiendo dentro de un esquema de validación, los alumnos realizaron un experimento de adición estándar, para lo cual cada grupo de alumnos preparó un fermentador y lo mantuvo durante una semana. Una vez transcurrido el tiempo, se tomó una muestra y se la dividió en tres alícuotas. En la alícuota 1, denominada *muestra de línea de base*, se determinó la concentración

de glucosa «basal». En las alícuotas 2 y 3 se agregaron cantidades de glucosa de aproximadamente 2 y 3 g/L respectivamente y después se determinó la concentración de dicho analito. Para determinar la concentración de glucosa en cada una de las alícuotas, los alumnos efectuaron 10 replicados ($n = 10$). A partir de estas tres muestras, se obtuvo un conjunto de datos importante para que el alumno aplique una herramienta estadística como el ANOVA, que le permite comprobar la igualdad de variancias y verificar la diferencia entre las medias. Además se construyeron gráficas de cantidad de glucosa agregada *versus* cantidad de glucosa recuperada y se calcularon los porcentajes de recuperación para cada nivel de agregado.

- Evaluación de la calidad de los resultados.

Los alumnos realizaron un tipo de actividad de evaluación de la calidad. A medida que cada comisión de alumnos determinaba glucosa y acidez en el biorreactor que les correspondía, en paralelo efectuaron las mismas determinaciones sobre una muestra única. Es decir, todas las comisiones obtuvieron resultados de las muestras tomadas de sus propios reactores y, además, resultados de una muestra que es común para todas las comisiones. De esta manera pudieron comparar sus resultados con los de las otras comisiones y obtener conclusiones acerca de las diferencias encontradas.

- Diseño experimental.

Empleando el mismo bioproceso, se incorporó la enseñanza del diseño experimental. A través del uso de técnicas de diseño experimental y análisis estadístico, aplicaron el método de la superficie de respuesta para conocer los valores óptimos de los factores seleccionados. El trabajo se desarrolló en dos semanas consecutivas. En la primera se realizó la selección de los factores más importantes, para lo que los alumnos prepararon los fermentadores, siendo cada fermentador una muestra del diseño experimental utilizado. Al final de la semana midieron la producción de ácidos y realizaron los cálculos necesarios para pasar a la siguiente etapa. La siguiente semana, con un esquema de trabajo similar, prepararon los nuevos fermentadores y finalmente realizaron los cálculos para obtener conclusiones respecto al trabajo realizado. Los alumnos aplicaron programas estadísticos especializados (Capello, 2002).

EVALUACIONES Y RESULTADOS

Parte de estos trabajos experimentales se desarrollaron en la asignatura Química Analítica I, de cursado común para los alumnos de las carreras de bioquímica y de licenciatura en biotecnología. Los 140 alumnos fueron divididos en diez grupos o turnos de trabajos prácticos, con una duración de cuatro horas semanales cada turno de laboratorio, durante un período de catorce semanas.

Otros prácticos se desarrollaron en los cursos de control de calidad, para alumnos de bioquímica, y elementos de quimiometría para licenciatura en biotecnología. Estos cursos se desarrollaron con un número de cuarenta alumnos.

Para cada alumno se aplicó una planilla de seguimiento individual, que permitió observar la evolución del proceso de la enseñanza experimental. La misma está diseñada según el uso de indicadores, como se explica en el trabajo de Mantovani y otros (2002), que comenzó a aplicarse en Química Analítica I y se perfeccionó en los cursos siguientes, tal como se muestra en el cuadro I.

Los indicadores y criterios que la integran son: *Indicador I*: «De la planificación del trabajo en el laboratorio», que evalúa el logro del criterio núm. 1, «Conocimiento de los pasos del proceso analítico total». *Indicador II*: «De las operaciones en el laboratorio», que evalúa el logro de los criterios núm. 2, «Conocimiento conceptual», núm. 3, «Elección del método», núm. 4, «Toma y preparación de la muestra», núm. 5, «Preparación de reactivos y soluciones», y núm. 6, «Desarrollo del procedimiento analítico». *Indicador III*: «De la expresión del resultado final», comprende los criterios núm. 7, «Tratamiento de datos y expresión de resultados», y núm. 8, «Evaluación de la precisión y exactitud dentro del rango considerado como aceptable». *Indicador IV*: «Determinación de los parámetros de funcionamiento en un método analítico instrumental», cuyo criterio esta orientado hacia el conocimiento y comprensión de la importancia de los procedimientos para su realización. *Indicador V*: «Calidad controlada de los resultados analíticos y su presentación en informes ampliados», siendo el criterio su relación entre el problema analítico, la calidad en general y la calidad analítica en particular.

Estos criterios son observados y evaluados durante el desarrollo de la parte práctica, para lo cual tienen asignados valores, como se observa en el cuadro, que son obtenidos por instrumentos adecuados (cuaderno de laboratorio, entrevista individual o grupal, desenvolvimiento en el laboratorio, informe de resultados, análisis químico individual). Como la unidad académica dispuso que el valor para promocionar una asignatura requiere del mínimo del 60 % del total de puntos asignados, también se tomó este valor como porcentaje aceptable de cada indicador, como índice de un buen rendimiento en el aprendizaje experimental. Los porcentajes generales obtenidos por los estudiantes, en los indicadores empleados para esta experiencia superan el 70%.

CONCLUSIONES

Se alcanzó el objetivo pedagógico de enseñar calidad en el laboratorio analítico desde el primer instante en que el alumno ingresa a esta disciplina, despertando el sentido crítico en la selección y realización de una metodología adecuada y, especialmente, entrenándolo en la resolución práctica mediante un trabajo independiente.

A través de los porcentajes obtenidos en los indicadores que monitorearon todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, se pudo comprobar que, mediante la aplicación de trabajos experimentales realizados en base a sistemas reales y concretos, se logra que los estudiantes comprendan y se esmeren en obtener resultados confiables y de incertidumbres acotadas.

Cuadro I
Modelo de la planilla individual de seguimiento.

Alumno:
Turno de trabajo práctico:

	Indicador 1 (1 punto)		Indicador II (5 puntos)					Indicador III (4 puntos)		Indicador IV (10 puntos)	Indicador V (10 puntos)
	CRITERIO 1		CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	CRITERIO 5	CRITERIO 6	CRITERIO 7	CRITERIO 8	CRITERIO 9	CRITERIO 10
	Conocimiento de los pasos del PAT		Conocimiento conceptual	Elección del método	Toma y preparación de la muestra	Preparación de reactivos y soluciones	Desarrollo del procedimiento analítico	Tratamiento de datos y exp. de resultados	Evaluación de la precisión y exactitud	Determinación de parámetros de funcionamiento en un método	Calidad controlada de los resultados analíticos y su presentación en informes
Puntaje máximo	1,0		0,5	0,5	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	10,0	10,0
1a. semana											
2a. semana											
14a. semana											
Promedio de cada criterio											
Puntos por indicador											
Porcentaje por indicador											

La concepción que ha generado este trabajo, origina necesariamente un currículo práctico de ciencia analítica que se asienta en el rigor científico y en los requerimientos laborales, caracterizado por la flexibilidad, la interdisciplinariedad y la transmisión de conocimientos actualizados, permitiendo una visión integrada del proceso analítico y tecnológico.

Las investigaciones actuales permiten prever que, una vez que el profesional egresa de una unidad académica universitaria, debe afrontar a lo largo de su actividad profesional no menos de tres cambios en las tecnologías que viene aplicando. Esto representa un fuerte desafío pedagógico, que se extiende a la necesidad de revisar el pensamiento sobre la educación permanente en química analítica y, en

particular, referido al trabajo experimental, dado que las nuevas tecnologías generalmente no son utilizadas en su máximo rendimiento.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe (Argentina), por el subsidio otorgado para realizar el Proyecto núm. 34 «Enseñanza Experimental de la Química Analítica: Investigación de criterios e indicadores de calidad de su mejoramiento», del Programa 2, CAI+D 2000 (12/B 149).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOOKSH, K.S. y KOWALSKI, B.R. (1994). Theory of Analytical Chemistry. *Anal. Chem.*, 66(15), pp. 782-791.
- CAPELLO, G., GOICOECHEA, H., MIGLIETTA, H. y MANTOVANI, V. (2002). Diseño y optimización experimental. Enseñanza de quimiometría usando un bioproceso. (Enviado para su publicación a la revista *FABICIB*; en etapa de evaluación).
- CHRISTIAN, G.D. (2001). Report on Symposium on Teaching Aspects in Chemistry: Curriculum Developments in Analytical Chemistry, Pacificchem 2000, Honolulu. *Chemical Education International*, 2(1), 6, pp. 22-25.
- CHRISTIAN, G. D. (2002). International Meeting Examines Analytical Curricula. *Anal. Chem.*, 74(7), pp. 219-221.
- ELLIOT, J. (1990). *La investigación-acción en educación*. Madrid: Morata.
- ELLIOT, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Madrid: Morata.
- ELUK, D., GOICOECHEA, H., MIGLIETTA, H. y MANTOVANI, V. (2000). Fermentaciones en medio líquido. Una propuesta para introducir al estudiante desde la química analítica al estudio de los bioprocesos. *Libro de Ponencias. IV Encuentro Nacional de Jóvenes Investigadores*. Santa Fe (Argentina): Universidad Nacional del Litoral.
- FOMEC (1996-2000). Fondo para el Mejoramiento de la Calidad Universitaria. *Secretaría de Políticas Universitarias. Ministerio de Cultura y Educación. Proyecto N° 329: «Mejoramiento de la Calidad de la Enseñanza de la Química»*. Santa Fe (Argentina): Universidad Nacional del Litoral.
- GOICOECHEA, H., ELUK, D., KUBESCHA, M., FERRARO, J., RODIL, B., MIGLIETTA, H. y MANTOVANI, V. (2000). Probiotics Production, en Interesting Example for the Undergraduate Analytical Chemistry Laboratory. *Chem. Educator*, 5, pp. 67-70.
- GOICOECHEA, H., MIGLIETTA, H., MANTOVANI, V., LOPEZ CORTÉS, M. y FERNÁNDEZ, J. (1997). Determinación de variables fisicoquímicas en cultivo

- sumergido de *Aspergillus Níger*: una experiencia integradora en el laboratorio analítico. *Aula Universitaria*, 1, pp. 61-66. Santa Fe (Argentina): Universidad Nacional del Litoral.
- GRASSERBAUER, M. (1993). Reflections on the science of Analytical Chemistry: competition «Analytical Chemistry-today's definition and interpretation». *Fresenius J. Anal. Chem.* 347, pp. 19-24.
- KISSINGER, P. (1992) Analytical Chemistry. What is it? Who needs it? Why teach it? *Trends in Analytical Chemistry*, 11(2), pp. 54-57.
- KUBESCHA, M., GOICOECHEA, H., MIGLIETTA, H., FERRARO, J., RODIL, B. y MANTOVANI, V. (1999). Resolución teórica y práctica de un problema de equilibrio ácido-base. *Aula Universitaria*, 2, pp. 53-57. Santa Fe (Argentina): Universidad Nacional del Litoral.
- MALISSA, H. (1992). Philosophical aspects of Analytical Chemistry II. IUPAC Congress. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 343, pp. 836-848.
- MALISSA, H. (1992). Philosophical aspects of Analytical Chemistry III. On education and definitions. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 347, pp. 3-13.
- MASSART, D.L., VANDEGINSTE, B., BUYDENS, L.M.C., DE JONG, S., LEWI, P.J. y SMEYERS-VERBEKE, J. (1997). Handbook of Chemometrics and Qualimetrics. *Data Handling in Science and Technology*. Vol. 20A-20B. Amsterdam: Elsevier.
- MANTOVANI, V., RODIL, B., BASAIL, C., GOICOECHEA, H., HERNÁNDEZ, S., DE ZAN, M., ROBLES, J.C. y CÁMARA, M.S. (2002). Monitoreo del mejoramiento de la enseñanza experimental de la química analítica. Aceptado para su publicación en la revista *FABICIB*, 6. Santa Fe (Argentina).
- MANTOVANI, V., RODIL, B., ROBLES, J.C., GOICOECHEA H., DE ZAN, M. y CÁMARA, M. (2000). Reflexiones acerca de la Enseñanza de la Química Analítica. *Símpoio Cibernético de la Asociación Argentina de Químicos Analíticos. Segunda parte: Educación en Química Analítica*.
- MANTOVANI, V., RODIL, B., ROBLES, J.C., HAMMERLY, J., MARRACINO, J.M. (1985). *La enseñanza universitaria de la química analítica y el planeamiento de las cátedras de las carreras de ingeniería química, licenciatura en química y bioquímica*. Santa Fe (Argentina): Edición de los autores.
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (1997). «Curricular Developments in the Analytical Sciences». *A Report from de Workshops, October 28-30, 1996 Leesburg, VA and March 13-15, 1997, Atlanta, GA*.
- QUEVAUVILLER, P. (1999). Editorial: Metrology in chemistry. *Trends in Analytical Chemistry*, 18 (9-10), p. 569.
- VALCÁRCEL, M. (1992). Competition – 2nd prize. Analytical Chemistry – today's definition and interpretation. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 343, pp. 814-816.
- VALCÁRCEL, M. (1999). *Principios de química analítica*. Barcelona: Springer - Verlag Ibérica.

[Artículo recibido en febrero de 2001 y aceptado en enero de 2003.]