

Propuestas rigurosas de evaluación de alguna faceta de la educación química.

La enseñanza de la química. Segunda parte. El ingreso al posgrado

José Antonio Chamizo y Plinio Sosa*

En la primera parte de esta serie de investigaciones informamos los resultados que, a nivel nacional, tuvieron cerca de 7,000 personas en su respuesta a un cuestionario que denominamos *quimiómetro* (Tirado, 2001). Dicho instrumento (calibrado para reconocer la cantidad de conocimientos de química obtenidos a nivel básico, es decir, el que corresponde en México hasta tercero de secundaria) indicó graves carencias en la población examinada. La media de aciertos obtenida fue de 40% de respuestas correctas. Por niveles de escolaridad los resultados también son críticos. Los que tenían estudios de secundaria obtuvieron una media de 32% de aciertos, los de bachillerato 38% y los de licenciatura 46%. Más aún, de los 1,374 estudiantes universitarios en todo el país, el 23% cursaba estudios en una profesión directamente relacionada con la química. Estos estudiantes obtuvieron apenas una media de 62% de respuestas correctas.

Ante estos graves resultados que indican, entre otras cosas, la lenta incorporación en las aulas de las propuestas educativas derivadas de la reforma de 1993-1994 o, en el caso de los alumnos universitarios (provenientes del plan de estudios previo), su flagrante ignorancia, nos abocamos a explorar los conocimientos de química de un grupo inequívocamente más específico: los candidatos a ingresar al posgrado de química de la UNAM.

Metodología

Con la participación del Coordinador de Posgrado en Ciencias Químicas de la UNAM se establecieron los propósitos y el procedimiento de trabajo. Así, se diseñó un instrumento de evaluación que consta de dos partes (tabla 1). La primera de ellas, con 60 preguntas, aborda temas identificados como de *nivel básico*. La segunda, denominada *nivel intermedio*, incorpora 30 preguntas respecto a matemáticas y a las diversas divisiones de la química (analítica, fisicoquímica, inorgánica y orgánica), cuyo objetivo es reconocer con mayor detalle aquellas áreas de conocimiento cercanas a las maestrías a las que los alumnos se han inscrito.

La composición de las preguntas del cuestionario de nivel básico se hizo mediante reactivos de diversas pruebas, con el propósito de poder hacer comparaciones con los obtenidos en otras poblaciones y, así, poder cruzar los resultados. Por su naturaleza corresponde a una “evaluación referida a criterio”.

- Diez de los reactivos corresponden al examen diagnóstico de conocimientos que se lleva a cabo cada año en la Facultad de Química. Representan de alguna manera lo que se debiera de saber al concluir el bachillerato.
- Otros diez fueron tomados de exámenes de química general de la American Chemical Society, es decir, indican conocimientos de los primeros años de los estudios profesionales.
- Diez más provienen de las secciones de química de los Exámenes Generales para el Egreso de las licenciaturas de Ingeniería Química y Químico Farmacéutico Biólogo que elabora el Ceneval (Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior, A C). Indican conocimientos que todo egresado de estas carreras debiera saber, de acuerdo con los comités nacionales que diseñan y construyen estos exámenes.
- De exámenes de admisión al posgrado de años anteriores (las más generales y básicas de las cuatro áreas tradicionales que integran el posgrado) provienen 16 preguntas.
- Finalmente, 14 preguntas fueron diseñadas *ex profeso* para este estudio. Estas últimas buscaron, entre otras cosas, establecer un equilibrio entre los contenidos de las diferentes áreas de la química.

Cuando fue necesario, tanto en el *nivel básico* como en el *intermedio* se incrementó el número de incisos de cuatro a cinco. En la tabla 2 se muestra el número de preguntas por área de la química en las diferentes partes del examen de admisión al posgrado.

De esta manera, considerando que es una evaluación referida a criterio, la mitad de los reactivos de la parte de nivel básico (Diagnóstico FQ-UNAM, ACS y Ceneval) corresponden a preguntas que, en principio, todos los candidatos a ingresar al posgrado debieran contestar, dado que están diseñadas para

* Facultad de Química, UNAM.

medir los conocimientos básicos de la química adquiridos entre el bachillerato y la licenciatura. A esta parte del examen se le hizo una prueba piloto: se aplicó a 30 estudiantes de octavo y noveno semestre de la carrera de química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Basados en los índices de confiabilidad obtenidos en esta prueba piloto, se hicieron los últimos ajustes.

Para la segunda parte, la de nivel intermedio, se les pidió a los presidentes de los subcomités académicos de las orientaciones de fisicoquímica, química analítica, química inorgánica y química orgánica una muestra de 10 preguntas por cada una de las disciplinas a evaluar. De ahí, se seleccionaron seis preguntas por disciplina, las que sumadas a otras seis de matemáticas (propuestas por los mismos presidentes) dieron el total de 30 preguntas.

La información proveniente de los exámenes de admisión (tanto de nivel básico como de intermedio) se procesó a través del Item and Test Analysis Program. Versión 3.5. De los resultados de esta primera versión del examen de admisión (que llamaremos 2001) se reconocieron preguntas que podrían mejorarse, lo cual se hizo en la versión 2002 (se modificaron seis preguntas de nivel básico, ninguna de ellas proveniente del examen diagnóstico de la FQ-UNAM) y dos de nivel intermedio, además del orden de presentación de las mismas).

Discusión y resultados

Se presentaron 111 candidatos a ingresar al posgrado de química de la UNAM en el verano de 2001 y 121 en 2002. En total, tres cuartas partes de los candidatos provienen de la UNAM. Todos se habían recibido o estaban a punto de hacerlo y la continuidad de sus estudios dependía en buena medida de la calificación que obtuvieran en el examen de admisión.

En la tabla 3 se muestran los resultados generales de la primera parte de la prueba, la correspondiente a nivel básico (en su versión del año 2001), en donde se puede observar que en promedio los candidatos no alcanzan a contestar correctamente ni la mitad de las preguntas.

Las preguntas que corresponden a los exámenes de diagnóstico, American Chemical Society y Ceneval, es decir lo identificado como lo más fundamental del conocimiento químico, fueron mejor respondidos (54% de aciertos) que la otra mitad, integrada por preguntas de exámenes de admisión anteriores y otras construidas especialmente (*ad hoc*) para el mismo (36% de aciertos).

Tabla 1. Estructura del examen de admisión al Posgrado de Ciencias Químicas.

| Nivel básico | | Nivel intermedio | |
|---|-----------|------------------|-----------|
| Fuente | # | Área específica | #* |
| Diagnóstico FQ-UNAM | 10 | Analítica | 6 |
| Química general de la ACS | 10 | Fisicoquímica | 6 |
| CENEVAL IQ y QFB | 10 | Inorgánica | 6 |
| Posgrado Ciencias Químicas (anteriores) | 16 | Orgánica | 6 |
| Chamizo-Sosa | 14 | Matemáticas | 6 |
| Total | 60 | | 30 |

Número de preguntas.

#* Se eligieron 6 de las 10 que proporcionaron los comités académicos correspondientes.

Tabla 2. Número de preguntas por área de la Química en los niveles básico e intermedio.

| | Nivel Básico | | Nivel Intermedio |
|---------------|------------------|-------------------|------------------|
| | Química General* | Áreas específicas | |
| Analítica | — | 7 | 6 |
| Fisicoquímica | — | 6 | 6 |
| Inorgánica | — | 7 | 6 |
| Orgánica | — | 6 | 6 |
| Matemáticas** | — | 4 | 6 |
| TOTAL | 30 | 30 | 30 |

* Examen diagnóstico, Examen de química general de la ACS y CENEVAL

** Generalmente de matemáticas, aunque también se incorporan algunas de difícil clasificación.

Tabla 3. Resultados del examen de admisión al posgrado en Química 2001.

| | Diag. | ACS | Ceneval | Posgrado | Ad hoc | Total |
|------------------------|-------|-----|---------|----------|--------|-------------|
| Cantidad de preguntas | 10 | 10 | 10 | 16 | 14 | 60 |
| Promedio de aciertos | 5.2 | 5.1 | 6.0 | 6.0 | 4.7 | 27.1 |
| Desviación estándar | 2.2 | 2.2 | 2.1 | 2.7 | 2.7 | 9.4 |
| Porcentaje de aciertos | 52 | 51 | 60 | 38 | 33 | 45 |

Tabla 4. Porcentaje promedio de respuestas a la sección del examen de diagnóstico del nivel básico para las generaciones 2001 y 2002.

| Pregunta | Licenciatura | Posgrado | . * |
|--|----------------|----------------|-----------|
| En una muestra de Fe_2O_3 se encontró que contiene 10.2 g de hierro. ¿Cuántas moles de hierro están presentes en la muestra? | 32 | 74 | 42 |
| Si se deshidratan 1.0 g de cada uno de los siguientes compuestos ¿cuál de ellos perderá la mayor cantidad de agua? $\text{LiCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$, $\text{SrC}_2\text{O}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ | 38 | 32 | -6 |
| El símbolo de cierto átomo es ${}^{148}_{73}\text{P}$ ¿Qué información nos proporciona sobre el átomo? | 20 | 38 | 18 |
| Clasifica los siguientes materiales como sustancias elementales, sustancias compuestas o mezclas: aire, ozono, oxígeno, bicarbonato de sodio, sangre, mayonesa, amoníaco. | 60 | 69 | 9 |
| ¿Cuál es la fórmula empírica de una sustancia que presenta el siguiente análisis: Na: 54%; B: 8.5% y O: 37.5%. | 47 | 48 | 1 |
| Un elemento forma un óxido básico del tipo XO y un hidruro XH_2 , el hidruro reacciona con agua y desprende hidrógeno. ¿De qué elemento se trata? | 20 | 58 | 38 |
| En la nomenclatura química encontramos los nombres de sulfuro de cobre (II) y cloruro de hierro (III). Sus formulas correspondientes son: | 33 | 84 | 51 |
| Al balancear la ecuación $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ¿Cuántas moles de N_2 se producirán por cada mol de N_2O_4 que reacciona? | 42 | 60 | 18 |
| Si se tienen 0.6 moles de aluminio, para formar Al_2O_3 se requieren: (las respuestas indican diferente número de átomos y/o moléculas de oxígeno) | 11 | 22 | 11 |
| ¿Cuál es el porcentaje de nitrógeno en $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$? | 67 | 85 | 18 |
| TOTAL | 37 | 57 | 20 |
| Número de participantes (2001/2002) | 877/868 | 111/121 | |

*. = Posgrado – Licenciatura

Los Exámenes Generales para el Egreso de la Licenciatura desarrollados por el Ceneval son instrumentos para medir y evaluar los conocimientos y habilidades relacionados con la formación académica de los recién egresados de una carrera. Su cobertura es nacional. En la parte de química, de los resultados del examen general para el egreso de la licenciatura de ciencias farmacéuticas el promedio de aciertos corresponde al 44% (Ceneval, 1999), mientras que en la sección equivalente del presente estudio es del 60%. Esta sección del examen de nivel básico fue la que mejor respuesta obtuvo por parte de los candidatos al posgrado en química. La com-

paración indica un mayor conocimiento de química respecto a los egresados de las carreras de químico farmacéutico biólogo.

Particularmente relevante es el análisis de los resultados comparativos entre el examen diagnóstico en licenciatura y el examen de admisión al posgrado, ya que de alguna manera indican, con todas las limitaciones del caso (dado que no son las mismas poblaciones), lo que los estudiantes aprenden de más sobre lo que ya sabían al entrar en la Facultad. La tabla 4 (donde se han promediado los resultados de ambos años) muestra estos resultados. Hay que señalar que únicamente dos de los 111 candidatos al

Tabla 5. Comparación entre los resultados de los exámenes de nivel básico e intermedio.

| | Nivel básico | | Nivel intermedio | |
|-------------------------------------|--------------|------|------------------|------|
| | 2001 | 2002 | 2001 | 2002 |
| Número de preguntas | 60 | 60 | 30 | 30 |
| Promedio de aciertos | 27.1 | 34.0 | 13.8 | 16.3 |
| Desviación estándar | 9.4 | 9.9 | 5.1 | 4.9 |
| Porcentaje de aciertos | 45 | 57 | 46 | 54 |
| Mediana | 28 | 33 | 14 | 16 |
| Grupo bajo | | | | |
| Número máximo de aciertos | 20 | 20 | 10 | 10 |
| Número de personas | 31 | 10 | 34 | 16 |
| Grupo alto | | | | |
| Número mínimo de aciertos | 33 | 33 | 17 | 17 |
| Número de personas | 32 | 64 | 34 | 57 |
| Máximo número de aciertos | 51 | 54 | 26 | 27 |
| Diferencia de aciertos entre grupos | 13 | | 7 | |

posgrado contestaron correctamente las diez preguntas en el 2001 y tres de los 121 candidatos en el 2002.

Los resultados para algunas de estas preguntas llevan a reflexiones interesantes. Por ejemplo, a la pregunta sobre el óxido básico XO y el hidruro XH_2 que reacciona con agua y desprende hidrógeno, el 21% da como respuesta: el azufre. Es decir, una quinta parte no ha entendido la diferencia fundamental entre un metal y un no metal. A la pregunta sobre qué información nos proporciona el símbolo ${}^{148}_{73}\text{Px}$, el 32% responde que su número atómico es 148 (contra el 33% que dio la respuesta correcta). Eso, a pesar que se les proporcionó una tabla periódica durante el examen, en la que el elemento con mayor número atómico era el Unh ($Z = 106$). ¿Sabrán que lo que distingue a átomos de diferentes elementos es el número de protones que contienen en sus respectivos núcleos? Finalmente, la pregunta sobre la deshidratación de diferentes compuestos es contestada incorrectamente por la mayoría (53%) indicando que todos ellos pierden la misma cantidad de agua en masa. Después de haber cursado una licenciatura en química, ¿entienden claramente conceptos como fórmula química, composición química y mol?

Al comparar los resultados entre lo que denominamos nivel básico y nivel intermedio, en donde se

incorporan los datos de los grupos que obtuvieron mayor y menor número de aciertos (tabla 5), podemos observar un comportamiento prácticamente paralelo entre ambas. En el año 2001, el grupo con mayor número de aciertos en ambas pruebas representa una tercera parte del total de la población y son los que responden correctamente un poco más de la mitad de todos los reactivos. En la versión del 2002 hay una mayor cantidad de estudiantes que obtienen mejores calificaciones. El coeficiente de correlación entre las dos pruebas fue de 0.711 en la versión del 2001 y 0.776 en la del 2002. Así, desde el punto de vista de un examen de admisión, la prueba es adecuada una vez que permite diferenciar claramente a los alumnos mejor preparados de los que no lo están.

Los resultados de este trabajo parecen indicar (como también se ha demostrado recientemente en Estados Unidos, Mulford, 2002) que los alumnos llegan a las carreras de la disciplina sin dominar los conocimientos básicos de la química y que, luego, la enseñanza de los conocimientos intermedios que se intenta proporcionar en el nivel de licenciatura no logra afianzar los conocimientos básicos ni, en consecuencia, incorporar los intermedios.

Lo anterior es apoyado por los comentarios emitidos por los alumnos de finales de licenciatura de la BUAP que realizaron el examen piloto de la

parte de nivel básico. Uno de los puntos importantes es que era la primera vez que realizaban un examen en el que toda la química estaba integrada. Así, profesionalmente se les prepara para resolver por separado problemas o de análisis o de química orgánica, pero difícilmente aparecen ambos juntos en el mismo examen, lo cual a todas luces indica una carencia curricular

Esto puede ser por varias razones. Una, que en lo general los cursos de licenciatura se enfocan en los nuevos conocimientos correspondientes a este nivel, asumiendo que los del nivel anterior ya están dominados por todos los alumnos. Otra, que la calificación (aunque incorpora resultados de otras actividades como el laboratorio, investigaciones bibliográficas, etcétera) generalmente no da cuenta de las carencias básicas. Aquí hay que recordar la siguiente frase de Camilloni (1998):

El régimen de promoción por promedio facilita que la ignorancia en un tema o el mal desempeño en una tarea sea compensado por el conocimiento de otro tema o la realización de otra tarea.

Otra razón más, es que a lo largo del proceso educativo el objeto de estudio de una asignatura se divide en varios compartimientos (p. ej. Química Inorgánica I, II, III, IV y V) y sólo en contadas ocasiones, éstas se relacionan entre sí. Lo anterior es mucho más claro cuando se trata de asignaturas de áreas diferentes. Para el alumno, lo aprendido en Físicoquímica o en Analítica aparentemente no es necesario para entender el mecanismo de reacción en Orgánica, por citar otro ejemplo. La continua división del saber y la prácticamente nula integración conduce a una segmentación de lo aprendido debilitando su utilización posterior (lo cual implica que, al fin de cuentas, no se aprendió).

Conclusiones

Empezar a construir los pisos de arriba sin haberse asegurado que los cimientos estén bien contruidos parece ser una estrategia condenada al fracaso. Lamentablemente, la aprobación de un curso (inclusive en los niveles superiores, como es el caso de Química General en la Facultad de Química de la UNAM) no garantiza que los alumnos sepan lo básico. Recordemos con Ausubel (1993):

Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averigüese esto, y enséñese en consecuencia.

Agradecimientos

A José Javier Rivadeneira, director de la Facultad de Química de la BUAP; a Raimundo Cea, coordinador del Posgrado en Química de la UNAM, y a Gisela Hernández, coordinadora del examen diagnóstico de la Facultad de Química.

Bibliografía

- Ausebel D.P., Novak, J.D. Hanesian, H., *Psicología Educativa*, Trillas, México, 1993.
- Ceneval, *Informe de resultados*, México, 1999.
- De Camilloni A., Celman, S., Litwin E. y Palou de Mate, M., *La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo*, Paidós Educador, Buenos Aires, 1998.
- Mulford, D., y Robinson, W., An inventory for Alternate Conceptions among First-Semester General Chemistry Students, *J. Chem. Ed.*, **2002**, *79*, 739-744.
- Tirado, F., Chamizo J.A., Rodríguez, F. y Pérez, A., La enseñanza de la química. Conocimientos, actitudes y perfiles, *Ciencia y Desarrollo*, *159*, 2001.