

La enseñanza de la química. Tercera parte. Evaluación de los conocimientos de química desde secundaria hasta licenciatura

*José Antonio Chamizo, Elizabeth Nieto, Plinio Sosa**

Abstract

In different places of Mexico around 2,500 students, with concluded studies of primary, secondary, high school and degree responded a chemistry questionnaire built around the following concepts: mixtures, vacuum, compounds, elements, evaporation, atoms, and chemical formula. This "criterion test" recaptures questions that had been applied in diagnostic exams and of admission to the degree and the postgraduate in chemistry from UNAM. Of the preliminary results it is identified that:

1. Only when concluding a chemistry career the students, on the average, respond in a way that it could be identified as approbatory (55% of correct answers).

2. The step for the secondary meant for the students a very brief acquisition of knowledge of chemistry (13% of correct answers at the end of primary against 19% when concluding the secondary) although these topics are in the curriculum.

3. Studying the high school increased the quantity of chemistry knowledge, with regard to the secondary in an important proportion, even that in fact when the quantity of these knowledge is compared, on the average against the criterion, the result is very far from being satisfactory.

Only two of five questions at all levels had correct answers.

Resumen

En diferentes lugares del país, cerca de 2,500 alumnos, con estudios concluidos de primaria, secundaria, bachillerato y licenciatura respondieron un cuestionario de química construido alrededor de los siguientes conceptos: mezcla, aire, vacío, compuesto, elemento, evaporación, átomo, protón, neutrón, electrón y fórmula química. Esta prueba de "criterio", retoma preguntas, que siendo de nivel preuni-

versitario, se habían aplicado en exámenes de diagnóstico y de admisión a la licenciatura y al posgrado en química de la UNAM. De los resultados obtenidos se identifica que:

1. Únicamente al concluir una carrera de química los alumnos, en promedio, responden de manera que podría identificarse como aprobatoria (55% de respuestas correctas).

2. El paso por la secundaria significó para los alumnos una muy breve adquisición de conocimientos de química (13% de respuestas correctas al término de la primaria contra 19% al finalizar la secundaria), a pesar de que estos temas forman parte explícita del currículo de la misma.

3. El cursar el bachillerato incrementó la cantidad de conocimientos de química con respecto a la secundaria en una proporción importante, aunque de hecho cuando la cantidad de estos conocimientos se compara, en promedio contra el criterio, el resultado está muy lejos de ser satisfactorio.

Sólo dos de las cinco preguntas comunes a todos los niveles son contestadas correctamente por una mayoría de estudiantes.

Antecedentes

En la primera 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 (alumnos desde secundaria hasta nivel profesional de diversas carreras). Posteriormente nos avocamos a explorar los conocimientos de química de un grupo muy específico e inequívocamente interesado y conocedor del tema: los candidatos a ingresar al posgrado de química de la UNAM. Los resultados obtenidos mostraron nuevamente una carencia relevante en conocimientos básicos de química (Chamizo, 2002). En este

*Facultad de Química, UNAM, 04510 México, D.F.
Correo electrónico: jchamizo@servidor.unam.mx,
plinio@servidor.unam.mx y liz@servidor.unam.mx

trabajo informamos de manera particular el primer estudio transversal de conocimientos de química desde la secundaria hasta el final de la licenciatura.

Metodología

Inicialmente nos dimos a la tarea de reconocer qué conocimientos de química son requeridos a los alumnos al término de la secundaria, del bachillerato y del nivel profesional. Compleja y arbitraria como puede ser esta selección, identificamos cuatro grandes temas presentes en todos los currículos y que a nuestro parecer están integrados por conceptos fundamentales:

1. Mezcla, compuesto, elemento.
2. Átomo, protón, neutrón, electrón.
3. Fórmulas químicas, lenguaje.
4. Vacío, partículas, gases, líquidos, evaporación.

Estos temas permitieron identificar preguntas de evaluaciones previas, como del examen de diagnóstico de la Facultad de Química (instrumento estandarizado de 100 preguntas de opción múltiple aplicado a todos los estudiantes de nuevo ingreso de la Facultad desde hace al menos 13 años) y del examen de admisión al posgrado en Química de la UNAM (la parte de conocimientos básicos del mismo, igualmente en modalidad de opción múltiple). Con estas preguntas y muchas otras identificadas de manera *ad hoc* para la investigación construimos una nueva versión del *quimiómetro* (al cual llamamos *quimiómetro 2*) el cual fue contestado por alumnos de secundaria y primero de bachillerato de diferentes lugares del país (Chamizo, 2003).

Con los primeros resultados obtenidos, modificamos el examen de diagnóstico a la Facultad de Química y el de admisión al posgrado de la UNAM incorporando dos de las preguntas del *quimiómetro 2* que consideraban los temas anteriores a través de reactivos contruidos alrededor del modelo cinético molecular. Estos nuevos instrumentos fueron contestados en el año 2003 por 895 alumnos de nuevo ingreso a la Facultad de Química y por 88 aspirantes a los posgrados de química y de enseñanza de la ciencias (estos últimos, profesores del bachillerato en activo).

Tenemos así resultados de diversas pruebas. Cinco preguntas del *quimiómetro 2* formaron parte de dos evaluaciones tanto de licenciatura como de posgrado. En un primer tiempo se compartieron tres de ellas y en una evaluación posterior se utilizaron otras dos. Con las respuestas a estas cinco preguntas se realizará el estudio transversal de conocimientos de química que por su naturaleza corresponde a una

evaluación referida a criterio. La información proveniente de los exámenes se procesó a través del Item and Test Analysis Program, versión 3.5.

Discusión y resultados

En diferentes lugares del país y en diferentes niveles educativos (tabla 1) 460 estudiantes contestaron las mismas cinco preguntas de entre muchas otras (tabla 2). De estas cinco preguntas, tres de ellas fueron contestadas además por los alumnos que en el año 2002 ingresaron a la Facultad de Química y por los candidatos al Posgrado de Química de la UNAM. Las otras dos preguntas fueron contestadas por un grupo equivalente a lo largo del año 2003.

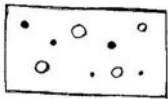
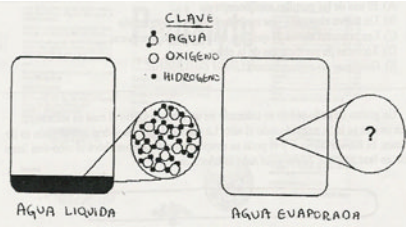
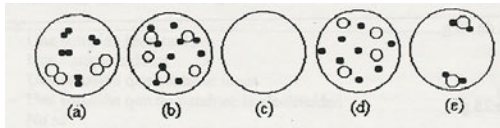
Estas preguntas al formar parte del examen de admisión de posgrado indican el nivel de conocimiento de alumnos que concluyeron una carrera de química. Los alumnos que aprueban este examen ingresan al posgrado de química de la UNAM. A través del examen de diagnóstico de la Facultad de Química de la UNAM se identifican los saberes de química de los alumnos que provienen de bachillerato y que les permite ubicarse en grupos específicos (por ejemplo aquellos que tienen bajos resultados son invitados a tomar un curso especial que les debe permitir subsanar sus limitaciones). Los estudiantes de primer año de bachillerato (en sus diferentes modalidades, CONALEP, CBTIS, Preparatoria y CCH) reflejan los conocimientos de la secundaria, mientras que los de primero de secundaria, los de la primaria. Las respuestas de estos últimos permiten ubicar el nivel inferior de conocimientos de química que se encuentra muy cerca al azar.

En la tabla 3 se reportan los resultados obtenidos. Antes de pasar al análisis de cada pregunta se

Tabla 1. Número y lugar donde los alumnos contestaron el instrumento.

Nivel educativo evaluado	Población (año de aplicación)	Origen	Preguntas contestadas
Primaria	299 (2002)	Aguascalientes (dos grupo) Baja California (dos grupos) Distrito Federal (un grupo) Querétaro (dos grupos) Sonora (un grupo)	1, 2, 3, 4, 5
Secundaria	161 (2002)	Aguascalientes (dos grupos) Distrito Federal (un grupo) Sonora (dos grupo)	1, 2, 3, 4, 5
Bachillerato	868 (2002) 948 (2003)	Distrito Federal Distrito Federal	1, 2, 3, 4, 5
Licenciatura	111(2002) 88 (2003)	Distrito Federal Distrito Federal	1, 2, 3, 4, 5

Tabla 2. Preguntas básicas de química.

Preg.	Enunciado	Opciones
1	Clasifica las siguientes sustancias como elemento, compuesto o mezcla: aire, ozono, oxígeno, bicarbonato de sodio, sangre, mayonesa, amoníaco	A) La sangre, el bicarbonato de sodio y el aire son compuestos. B) El ozono, el amoníaco y el oxígeno son compuestos. C) El oxígeno y el amoníaco son elementos. D) El aire y la mayonesa son mezclas. E) El bicarbonato de sodio, el amoníaco y el ozono son compuestos.
2	El símbolo de cierto elemento es $^{148}_{73}\text{Px}$. ¿Qué información nos proporciona sobre el átomo?	A) Que tiene 148 electrones. B) Que su masa atómica es 73. C) Que tiene 221 protones en el núcleo. D) Que tiene 75 neutrones en el núcleo. E) Que su número atómico es 148.
3	En la nomenclatura química encontramos los nombre de sulfuro de hierro (ii) y cloruro de hierro (III). Sus formulas correspondientes son:	A) Cu_2S y Fe_3Cl B) CuS_2 y FeCl_2 C) CuS y FeCl_3 D) CuS y Fe_3Cl E) Cu_2S_2 y Fe_3Cl_3
4	Probablemente habrás oído decir que la materia está formada por pequeñas partículas tales como átomos y moléculas. Si representamos todas las partículas de los distintos gases que componen una pequeña muestra de aire así:  ¿Qué hay entre estas partículas?	A) Más aire. B) Otros gases. C) Nada. D) Una sustancia muy ligera que lo rellena todo. E) Vapor.
5	El círculo de la derecha muestra una imagen aumentada de una pequeña porción de agua líquida en un recipiente cerrado. ¿Cuál será la imagen aumentada después de que el agua se ha evaporado? 	

puede observar de manera general, y con todas las precauciones que hay que tener en cuenta por el tamaño y la representatividad de la muestra, que:

1. Únicamente al concluir una carrera de química los alumnos, en promedio, responden de manera que podría identificarse como aprobatoria (55% de respuestas correctas).
2. El paso por la secundaria significó para los alumnos una muy breve adquisición de conocimientos de química (13% de respuestas correctas al término de la primaria contra 19% al finalizar la secundaria), a pesar de que estos temas forman parte explícita del currículo de la misma.
3. El cursar el bachillerato incrementó la cantidad de conocimientos de química, con respecto a la secundaria en una proporción importante, aunque de hecho cuando la cantidad de estos conocimientos se comparan en promedio, contra el

criterio, el resultado está muy lejos de ser satisfactorio. Sólo en dos de las cinco preguntas hay una mayoría de estudiantes que contesta correctamente.

La pregunta uno pretende evaluar si los jóvenes entienden los conceptos de elemento, mezcla y compuesto. En las investigaciones sobre ideas previas (Barker, 2000; Ideas Previas, 2002) se ha encontrado que existe una enorme confusión entre estos conceptos.

En este estudio, no se preguntan las definiciones correspondientes sino se les pide que clasifiquen una serie de materiales de su entorno cotidiano. La respuesta correcta (contestada en promedio por el 40% de todos los alumnos) corresponde al inciso D donde se señala que el aire y la mayonesa son mezclas. El hecho de que las opciones A y E fueran en los cuatro niveles las más indicadas como correctas (por más

de una quinta parte de todos los alumnos) sugiere que los examinados no entienden la diferencia entre estos conceptos. Los que no eligen la opción D, la correcta, suponen que tanto el aire como la mayonesa son materiales que consisten de una sola sustancia y no de varias como realmente es. Los que eligieron C creen posiblemente que el amoníaco es una sustancia elemental siendo que es una sustancia compuesta. En el mismo sentido, los que señalaron el inciso E consideran que el ozono no es una sustancia elemental sino una sustancia compuesta.

Una dificultad en este tema es que los nombres de los materiales no ayudan a diferenciar mezclas de sustancias. Se requiere cierta experiencia con los materiales más comunes de nuestro entorno para poder saber si se trata de mezclas, elementos o sustancias. Curiosamente, llevar los cursos de química de secundaria no ayudan a superar la confusión entre estos tres conceptos, lo cual sólo se logra de manera incipiente al incrementar la experiencia escolar.

La pregunta dos pretende evaluar si los alumnos reconocen el código de los símbolos químicos, y si entienden qué partículas son las que caracterizan a un elemento. La respuesta correcta corresponde al inciso D: 75 neutrones en el núcleo. Este número no aparece explícitamente en el símbolo químico puesto que se requiere restar de la masa el número atómico para obtener el número de neutrones. Fue la menos contestada en todos los niveles educativos (tabla 4). Este resultado parece indicar que los alumnos no saben a qué se refieren los números que aparecen alrededor de los símbolos de los elementos. La preferencia por una de las opciones incorrectas quizá tenga que ver con que en ella reconocen palabras que tienen que ver con el tema. Si así fuera, querría decir que, en clase, se menciona la frase sin explicar el concepto. Es decir, nunca se hace la conexión de que *número atómico* es sinónimo de *número de protones*. No entender esto impide distinguir elemento, compuesto y mezcla así como entender el significado de las fórmulas químicas.

La tercera pregunta busca evaluar si los estudiantes entienden el código del lenguaje químico. La opción correcta C es la más contestada por los estudiantes que van a ingresar al posgrado y aquí inequívocamente es un concepto aprendido. No deja de ser relevante, sin embargo, que en todos los niveles la opción incorrecta más frecuente es la A, aquella en la que los subíndices son iguales a los números de oxidación.

Tabla 3. Porcentaje de respuestas correctas y ganancia.

Nivel educativo	Pregunta	% aciertos	Δ^*
Primaria	1	17	
	2	10	
	3	18	
	4	4	
	5	17	
Promedio		13	0
Secundaria	1	22	5
	2	6	-4
	3	18	0
	4	21	17
	5	30	13
Promedio		19	6
Bachillerato	1	60	43
	2	21	11
	3	34	16
	4	61	57
	5	16	-1
Promedio		38	25
Licenciatura	1	61	44
	2	33	23
	3	86	68
	4	55	51
	5	42	25
Promedio		55	42

Δ^* = Diferencia en porcentaje entre la primaria y el nivel indicado = Ganancia.

El modelo cinético molecular es una primera explicación de la materia. Está relacionado con todos los demás conceptos que se estudian en química. Se considera que para poder entender el resto de la química o los conocimientos propios de la química es indispensable haber comprendido cabalmente las ideas centrales de este modelo que se ejemplifica en la pregunta cuatro donde se aborda el concepto de vacío. El porcentaje de respuestas correctas para esta pregunta es uno de los que más crece a lo largo de la escolaridad, sin embargo es un concepto que a todas luces debería ser totalmente aprendido, lo cual no sucede. Es en el bachillerato donde el incremento es mayor y por razones que habría que investigar posteriormente donde únicamente los alumnos que concluyen la licenciatura retroceden. Hay que hacer notar que esta pregunta y su respuesta son amplia-

Tabla 4. Promedio de porcentaje de respuestas correctas

Preguntas	1	2	3	4	5
%	40	18	39	35	26

mente discutidas en el *Libro del Maestro de Química. Educación secundaria*, el cual ha sido repartido gratuitamente entre todos los docentes del país de este nivel desde hace una década (Chamizo, 1994).

Entre las respuestas incorrectas son interesantes las tendencias de los incisos A y D. Mientras A va aumentando con la escolaridad, B va disminuyendo. Parece que el efecto de la escolaridad fue el de hacer que algunos alumnos sustituyeran un medio material indefinido por uno bien conocido: el aire.

De los resultados obtenidos para esta pregunta, se desprende que muchos de los alumnos examinados están lejos de comprender que las diversas sustancias (la forma en que se manifiesta la materia) consisten de partículas, moviéndose permanentemente y que entre ellas no hay más que vacío.

La pregunta cinco es una de las más difíciles y confirma que para muchos estudiantes cuando una sustancia se evapora o desaparece (respuesta C) o sus elementos constituyentes, al ser gaseosos (hidrógeno y oxígeno) se separan (respuestas A y D. Estas respuestas erróneas fueron contestadas inclusive por varios profesores de bachillerato en activo, candidatos a ingresar al posgrado en enseñanza de las ciencias. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Mulford (Mulford, 2002) en un estudio reciente con cerca de 1,500 estudiantes de Química General en los Estados Unidos.

Lo anterior resulta paradójico una vez que en el discurso, el joven aprendiz no tiene objeción para aceptar que las sustancias consisten de pequeñas partículas. Sin embargo, preguntas como la cuarta y quinta referidas a imágenes más concretas sirven para revelar si efectivamente el alumno está convencido de la naturaleza corpuscular de la materia, además de acercarse al concepto de cambio de fase.

Comentarios finales

La enseñanza de la química, prácticamente en todo el mundo, asume un currículo “químicamente puro” que difícilmente propicia la construcción de una actitud científica de los alumnos frente a la vida. Esta estructura dominante basada en la teoría corpuscular rígidamente combinada con una estructura filosófica (el positivismo educativo) y una estructura pedagógica (la preparación del futuro químico profesional), es la que de una forma u otra define lo que socialmente reconocemos como química (van Berkel, 2000). De poco han servido los resultados de investigaciones educativas sobre la enorme dificultad que tienen los estudiantes (particularmente de secunda-

ria, pero también como aquí se informa de bachillerato y licenciatura) para entender el abstracto e inobservable mundo microscópico y las representaciones simbólicas (como el lenguaje) de sustancias y procesos (véase la página web sobre Ideas Previas, 2002) cuando se les sigue exigiendo que piensen “correctamente” como científicos sin haber desarrollado ni los maestros ni los cursos ni los libros, ni las estrategias para lograrlo.

De este trabajo podemos concluir tentativamente que los conceptos básicos de química (como los aquí investigados) no llegan a ser plenamente comprendidos —y mucho menos dominados— al término del nivel que les corresponde (que debiera ser la secundaria o, si acaso, el bachillerato) sino hasta la conclusión de una carrera profesional del área de la química. Es decir, el resto de la química se construye, en los distintos niveles, sobre unos cimientos frágiles e inestables que no permiten un aprendizaje cabal de la disciplina. Sobra decir que éste puede ser un factor principalísimo en los pobres resultados que tradicionalmente muestra la enseñanza de la química. Así como es muy difícil componer un edificio mal cimentado, cuando los alumnos aprenden “mal” un concepto es muy difícil revertir ese aprendizaje posteriormente. Por ello, se sugiere poner un mayor énfasis en asegurarse que los conceptos básicos de la química sean bien aprendidos en los niveles preuniversitarios y no esperar a que los estudiantes concluyan una carrera profesional para que los aprendan.

Referencias

- Barker V., *Beyond Appearances: Student's misconceptions about basic chemical ideas*. Royal Society of Chemistry, London, 2000.
- Chamizo J.A., Petrich M., Vilar R., *El libro del Maestro. Química. Educación Secundaria*, SEP, México, 1994.
- Chamizo J.A., Sosa P., La enseñanza de la Química. Segunda Parte. El ingreso al posgrado, *Educ. Quím.*, **13**, 254-258, 2000.
- Chamizo J.A., *Hacia una cultura científica básica 1. Conocimientos de Química*. Informe Final, SEP, México, 2003.
- Ideas Previas, (2002)
<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>
- Mulford D., Robinson W., An inventory for Alternative Conceptions among First-Semester General Chemistry Students, *J. Chem. Ed.*, **79**, 739-744, 2002.
- Tirado F., Chamizo J.A., Rodríguez F., Pérez A., La enseñanza de la química. Conocimientos, actitudes y perfiles, *Ciencia y Desarrollo*, **159**, 59-71, 2001.
- Van Berkel, de Vos W., Verdonk A.H. and Pilot A., Normal science education and its dangers. The case of school Chemistry, *Science & Education* **9**, 123-159, 2000.