

MODELACIÓN MOLECULAR

Estrategia didáctica sobre la constitución de los gases, la función de los catalizadores y el lenguaje de la química¹

JOSÉ ANTONIO CHAMIZO Y JOSÉ RUTILO MÁRQUEZ

Resumen

Se presentan los resultados de una estrategia didáctica basada en la modelación para el aprendizaje del papel del catalizador en las reacciones químicas. El trabajo, realizado con alumnos de primer ingreso a la universidad y aplicable a niveles inferiores, indica además una importante mejora en el entendimiento de la constitución de los gases y del lenguaje de la química.

Abstract

The article presents the results of a didactic strategy based on modeling, for learning the role of catalysts in chemical reactions. The study, carried out with first-semester university students and applicable to lower levels, also reveals important improvement in understanding the constitution of gases and the language of chemistry.

Palabras clave: modelos, lenguaje, química, estrategias de enseñanza, educación superior, México.

Key words: models, language, chemistry, teaching strategies, higher education, Mexico.

Introducción

En su último artículo, la inglesa R. Driver, pionera en la investigación sobre las ideas previas de niños y adolescentes escribió: “La actividad principal de los científicos es evaluar cuál de entre dos o más modelos rivales encajan con la evidencia disponible y, por lo tanto, cuál representa la explicación más convincente para determinado fenómeno en el mundo (Driver, Newton, y Osborne, 2000).”

José Antonio Chamizo es docente-investigador de la Facultad de Química de la UNAM. Facultad de Química, Edificio B, 3er. piso, cubículo 304 bis, circuito interior de Ciudad Universitaria, del. Coyoacán, México, DF. CE: chamizo@servidor.unam.mx

José Rutilo Márquez es investigador de la Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP.

Lo anterior sirve para reconocer la creciente importancia que la discusión sobre los modelos y la modelación está teniendo, no sólo en la filosofía de la ciencia (Achinstein, 1987; Giere, 1997; Bailer-Jones, 2002) sino también en su enseñanza (Gilbert y Boulter, 2000; Justi y Gilbert, 2002; Erduran y Duschl, 2004). Así, recientemente Izquierdo ha indicado (2003):

La analogía del “estudiante como científico” centrada en el método experimental como un proceso de justificación del conocimiento ha sido considerada apropiada por más de un siglo, pero hoy es insuficiente. La presente reflexión entre los expertos acerca de la ciencia y la educación en ciencias desde la perspectiva de la “nueva historia y filosofía de la ciencia” y de las ciencias cognitivas cuestiona severamente esta analogía y sugiere nuevos campos de investigación en la enseñanza de las ciencias. Hoy contamos con un nuevo paradigma acerca de la ciencia que puede ser útil para la enseñanza de la ciencia, en el que se establece una conexión gradual entre los modelos teóricos propios de la ciencia y las representaciones mentales que los estudiantes tienen sobre los fenómenos naturales.

En los últimos años ha sido mucho el interés por los trabajos dedicados a la investigación de las representaciones y su influencia en el proceso educativo. Algunos estudios han mostrado que en el proceso de aprendizaje los alumnos crean algún tipo de construcción simbólica –como una imagen– con el fin de codificar y relacionar la información y, así, hacerla más significativa. Se ha mencionado que las imágenes individualizan nuestras experiencias y le dan significado a nuestros pensamientos, ayudando o impidiendo nuestra habilidad de razonamiento. Kleinman, Griffin y Konigsberg (1987) sugieren que los alumnos pueden ser incapaces de aprender química porque no pueden relacionar los conceptos con imágenes apropiadas. Bugelsky ha mostrado (citado por Kleinman *et al.*) que la comunicación puede fracasar porque la construcción de significados depende en gran parte de las imágenes individuales.

El empleo de modelos moleculares en los procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación tiende puentes entre la abstracción y la construcción de imágenes mentales útiles en la educación (Caamaño, 2003). Estos modelos no sólo representan formas o estructuras tridimensionales, sino que también especifican propiedades químicas y físicas de las moléculas. Tradicionalmente se ha dejado de lado el componente visual-espacial en el aprendizaje de la química (Habraken, 1996), debido a la creencia de muchos profesores

de que sólo el pensamiento lógico-matemático puede ser riguroso y que por ello las imágenes únicamente son ilustraciones. Sin embargo esto no es así, las representaciones en química son, por sí mismas, un lenguaje altamente estructurado.

Antecedentes

La reacción de Haber tiene una gran importancia histórica. Fritz Haber y Carl Bosch la desarrollaron en Alemania, en 1909, como un proceso industrial para la producción de amoníaco y nitratos, a partir de hidrógeno y nitrógeno, utilizando un catalizador de hierro y, posteriormente, para su uso en la fabricación de explosivos durante la primera Guerra Mundial (Kiefer, 2001; Paxmany y Harris 1982; Zmaczynski, 1998). Actualmente se utiliza ampliamente como ejemplo de una reacción gaseosa catalizada por un metal en muchos de los textos de química general en todo el mundo (Chang, 1994; Brown, 1997).

En trabajos anteriores se han empleado representaciones moleculares para investigar cómo interpretan los alumnos el significado de coeficientes y subíndices en fórmulas y ecuaciones químicas. Yaroch (1985) reporta que numerosos estudiantes de bachillerato son capaces de balancear correctamente ecuaciones químicas, pero no de representarlas mediante dibujos. Por ejemplo representan 3H_2 como seis átomos unidos; asimismo, la reacción de Haber: $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ no la representan de manera adecuada. Lythcott (1990), en un estudio parecido al de Yaroch, pidió a alumnos de preparatoria que respondieran algunas preguntas tipo algoritmo acerca de estequiometría y que representaran la reacción mediante dibujos. Muchos resolvieron satisfactoriamente los problemas algorítmicos pero mostraron escasa comprensión del nivel representacional. Numerosos de los errores encontrados por Lythcott fueron similares a los reportados antes por Yaroch.

En cuanto a la modelación del papel del catalizador aplicado a la reacción de Haber no se conocen trabajos anteriores.

Propósitos

En la reacción de Haber intervienen reactivos, en fase gaseosa, de estructura química simple, por lo que se presta para su modelación de acuerdo con los propósitos de este estudio que, por fuerza, están limitados por el contenido conceptual de los alumnos involucrados. Sin embargo, la expli-

cación del proceso de obtención de amoníaco es compleja desde el punto de vista fisicoquímico, dado el papel del catalizador y los parámetros cinéticos y termodinámicos que determinan el curso de la reacción y la obtención de los productos; por ello, es posible construir modelos mucho más complicados (Chamizo, 2006) que incluyan conceptos y procedimientos más amplios y profundos, lo cual no forma parte de la presente investigación.

Así, mediante la aplicación de un cuestionario y de una estrategia didáctica que utiliza la construcción de modelos moleculares alrededor de la reacción de Haber (utilizada como un ejemplo paradigmático al interior de la química), se pretende:

- 1) Identificar las ideas previas de los alumnos sobre la constitución de los gases.
- 2) Utilizar la modelación como estrategia de enseñanza-aprendizaje, para que los alumnos tengan una percepción más clara del papel que desempeñan los catalizadores en las reacciones en que participan.
- 3) Determinar si la modelación puede ayudar a los alumnos a relacionar las diferentes formas de representación de una fórmula química y, así, tener una idea más clara del significado de los coeficientes y los subíndices; es decir, mejorar su comprensión del lenguaje de la química.

Metodología y resultados

Con el fin de alcanzar los propósitos planteados, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- 1) Elaboración y validación de un cuestionario en el que se investiga el significado que atribuyen los alumnos a la constitución de los gases, a las representaciones moleculares y al papel del catalizador en la reacción de Haber.
- 2) A través de una estrategia didáctica específica, modelación de la reacción de Haber, enfatizar la forma en que se rompen enlaces y se forman otros para transformar los reactivos en productos, haciendo intervenir al hierro (Fe) metálico en el mecanismo propuesto.
- 3) Aplicación del cuestionario en dos grupos semejantes: uno en que se llevó a cabo la estrategia didáctica de la modelación y otro en el que no se hizo.
- 4) Comparación de los resultados.

Como primer paso se elaboró un cuestionario que constó de 10 preguntas, se tomaron en cuenta las representaciones que los alumnos hacen de las moléculas y de las reacciones químicas. Se aplicó como prueba preliminar para investigar sobre la claridad de la redacción de las preguntas, así como sobre su grado de dificultad. El 68% del grupo opinó que la prueba era muy fácil o fácil y más de 75% consideró que era muy clara o entendible. A partir de esta prueba también se calculó el coeficiente de confiabilidad. El método utilizado fue el de “mitades partidas” (Hernández, Fernández y Baptista, 2000). Se comprobó la correlación entre ambas mitades, resultando un coeficiente de confiabilidad A/B de 0.95. El cuestionario se muestra en el apéndice.

La estrategia didáctica (Márquez, 2004) para la modelación de la reacción de Haber que hay que recordar sucede en fase gaseosa, *inicia* con la construcción de modelos moleculares utilizando plastilina y palillos. De tal forma, los alumnos se integran por parejas para trabajar, se escribe la ecuación en el pizarrón y se les pide que la representen utilizando plastilina y palillos sin indicaciones adicionales por parte del profesor. Los estudiantes discuten entre sí la manera de trabajar y llegan a un consenso presentando sus modelos terminados. En muchos casos, las representaciones efectuadas no tienen mucho que ver con lo que consideramos adecuado. El profesor enfatiza las diferencias entre los modelos construidos y les pide opiniones a los diversos equipos de trabajo para llegar a un punto común, se busca la discusión y la participación más general posible, no se trata de que el profesor dé la respuesta “correcta” sino de que el alumno, valorando otras construcciones y argumentaciones, pueda mejorar lo hecho anteriormente. En el *desarrollo* de la estrategia, con algunas reglas dadas por el maestro, los alumnos construyen modelos para representar el proceso de transformación de reactivos a productos. En el curso de la transformación, utilizando una cartulina, representan mediante fórmulas cada uno de los pasos propuestos (ver figura 1). En el *cierre* de la estrategia, los estudiantes pegan en las paredes del salón sus cartulinas, comparan los modelos construidos y los pasos de la reacción por medio de fórmulas químicas. El profesor propicia la crítica de sus modelos y les pide alternativas de representación, por ejemplo: ¿está adecuadamente representado el catalizador?, ¿de qué otra forma se podría representar?, ¿qué significan los palillos?, ¿cuántos pasos se utilizaron para efectuar la transformación? A la semana siguiente de efectuada la estrategia de modelación, se aplicó el cuestionario con el fin de llevar a cabo la *evaluación* de la estrategia empleada.

En el tercer paso se aplicó el cuestionario a dos grupos que estaban terminando un curso universitario de química general. En uno de ellos, que en adelante se denominará CM, se aplicó la estrategia de enseñanza-aprendizaje de modelación de la reacción de Haber, y constó de 45 alumnos. En el otro, compuesto por 46 estudiantes y que se denominará grupo SM, el trabajo fue sin la aplicación de la estrategia.² En ambos grupos, el tiempo para contestar el cuestionario fue de una hora, cada alumno anotó su nombre y se les indicó que sólo contaría como ejercicio de clase y no la calificación obtenida en la prueba, por tanto podrían, dado el caso, contestar con toda libertad la opción *No sé*.

Finalmente en cada grupo se calculó el porcentaje de respuestas correctas por pregunta con el fin de igualarlos, dado que el CM constaba de 45 alumnos y el SM de 46. Así, de 100 puntos posibles, el primero obtuvo 75.8, mientras el segundo 53.3 (tabla 1). Adicionalmente, la comparación entre los resultados de ambos grupos se llevó a cabo a través de la prueba *t* de Student. Para todo el cuestionario $t_{\text{calculada}} (5.65) > t_{\text{tablas}} (1.8331)$ con $\alpha = 0.05$. Por lo que se puede decir que hay una diferencia significativa en las respuestas entre ambos grupos con un nivel de 95% de confianza.

TABLA 1

Porcentaje de respuestas correctas por pregunta

Pregunta núm.	Porcentaje de respuestas correctas		Diferencias CM-SM
	CM	SM	
1	55.6	21.7	33.8
2	86.7	69.6	17.1
3	88.9	82.6	6.3
4	97.8	97.8	0.0
5	93.3	65.2	28.1
6	84.4	67.4	17.0
7	46.7	23.9	22.8
8	66.7	26.1	40.6
9	84.4	56.5	27.9
10	53.3	21.7	31.6
Promedio:	75.8	53.3	22.5

Discusión

Para un mejor análisis de los resultados dividimos el cuestionario en tres bloques, como se puede observar en la tabla 2, donde también se muestra el promedio de las diferencias entre ambos grupos. Relacionado con lo anterior, en la tabla 3 se indican los porcentajes de todas las opciones para cada pregunta de ambos grupos.

TABLA 2

Clasificación de las preguntas del cuestionario en temas relacionados

Bloque	Preguntas	Promedio de las diferencias CM-SM
1 Ideas previas sobre la constitución de los gases	1 y 9	30.9
2 Catalizador	7 y 8	31.7
3 Lenguaje	2,3,4,5,6 y 10	16.7

TABLA 3

Porcentaje de respuestas para cada opción

Pregunta	Porcentaje de respuestas (las correctas aparecen en <i>itálicas</i>)									
	Grupo CM					Grupo SM				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
1	4.4	28.9	<i>55.6</i>	2.2	8.9	19.6	37	<i>21.8</i>	2.2	19.6
2	8.9	<i>86.7</i>	0.0	4.4	0.0	21.7	<i>69.6</i>	0.0	8.7	0.0
3	0.0	4.4	6.7	0.0	<i>88.9</i>	0.0	13.0	2.2	2.2	<i>82.6</i>
4	0.0	2.2	<i>97.8</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	<i>97.8</i>	2.2	0.0
5	0.0	6.7	0.0	<i>93.3</i>	0.0	0.0	32.6	2.2	<i>65.2</i>	0.0
6	<i>84.4</i>	8.9	6.7	0.0	0.0	<i>67.4</i>	2.2	26.1	2.2	2.2
7	2.2	37.8	<i>47.7</i>	13.3	0.0	23.9	17.4	<i>23.9</i>	17.4	17.4
8	8.9	22.2	<i>66.7</i>	0.0	2.2	34.8	13.0	<i>26.1</i>	0.0	26.1
9	2.2	6.7	6.7	<i>84.4</i>	0.0	6.5	2.2	26.1	<i>56.5</i>	8.7
10	2.2	17.8	<i>53.3</i>	0.0	26.7	2.2	10.9	<i>21.7</i>	2.2	63.0

Bloque 1: ideas previas sobre la constitución de los gases³

La información sensorial visible acerca de sólidos y líquidos indica que éstos son “materiales”, asunto que es inadmisibile para una gran cantidad de estudiantes en el caso de gases y vapores. La imposibilidad de verlos niega su existencia. Además, imaginar el vacío es muy difícil e, intuitivamente, alumnos de todas las edades, lo llenan de “algo”. La constitución de gases (incluidos los vapores) ha sido objeto de un gran número de investigaciones (Linjse *et al.* 1990; Kind, 2004) y los hallazgos obtenidos muestran la enorme dificultad de superar este, también denominado, “obstáculo epistemológico” (Bachelard 1981).

Sólo a manera de contexto, en el estudio realizado por Novick y Nussbaum (1981) se reporta que de los estudiantes de bachillerato investigados, 40% considera que entre las partículas de un gas hay vapor u oxígeno, mientras que 15% respondió que entre éstas existen agentes contaminantes; es decir, al menos 55% de los alumnos descartó la existencia de espacio vacío. Benson *et al.* (1993) reportan en su estudio que 33% de estudiantes universitarios “desestimaron la existencia de espacio vacío entre las partículas de un gas”.

En el caso de los vapores se ha observado en muchos lugares que los estudiantes no emplean de manera consistente el modelo corpuscular para explicar la evaporación (Kind, 2004). Aquí retomamos el estudio de Mulford y Robinson (2002) aplicado en la evaporación del agua: allí 35% de los estudiantes (de nuevo ingreso en una populosa universidad estadounidense) piensa que la evaporación implica el rompimiento de los enlaces de las moléculas de agua para producir átomos o moléculas de hidrógeno y oxígeno, mientras que 24 % considera que al evaporarse el agua, las moléculas desaparecen. En el presente trabajo la pregunta es referida al amoníaco. En nuestros resultados (pregunta 9), se ve que la mayoría de los estudiantes optan por la respuesta *correcta*, aunque hay diferencias que debemos resaltar: en el grupo CM, 84.4% la eligieron, mientras en el SM fue 56.5%, dando una diferencia de casi 28 puntos porcentuales.

Ambas preguntas (con la diferencia antes comentada entre el amoníaco y el agua) forman parte del examen diagnóstico de la Facultad de Química de la UNAM (es decir para los alumnos de nuevo ingreso con el bachillerato concluido), donde el porcentaje de aciertos ha sido, en los últimos años, de 39% (Chamizo, 2004). Dicho resultado es igual al aquí reportado para los alumnos del grupo SM. Es muy importante hacer notar que una y otra

vez, en poblaciones diferentes, se obtienen resultados alarmantes sobre este tema. La mayoría de los alumnos con el bachillerato concluido son incapaces de asumir que los gases (y los vapores) están formados por partículas, valga la redundancia, materiales, muy separadas entre sí mismas. Y lo que es aún más difícil: que entre ellas no hay nada. Lo anterior es un enorme problema, aunado a la dificultad para enseñarlo, una vez que, como Kind ha comentado (2004):

[...] también usaron preguntas similares [...] en su trabajo con maestros de escuelas primarias. Encontraron que éstos no usaban con frecuencia el modelo corpuscular para explicar el fenómeno de evaporación en términos macroscópicos. Esto se añade a la evidencia presentada antes que indica que la gente no cambia con facilidad sus ideas previas sobre las partículas y la materia, porque conservan sus preconcepciones de la infancia hasta la edad adulta.

Bloque 2: sobre el catalizador

En el aula, los alumnos hablan de catalizadores y escriben ecuaciones químicas que incluyen catalizadores, definen el concepto sin dificultad. En el laboratorio efectúan reacciones catalíticas, frecuentemente refieren que éstas se llevan a cabo “en presencia del catalizador”; pese a todo, no tienen una idea clara sobre el papel que desempeña un catalizador en una reacción química y no le atribuyen una acción concreta en el curso de la reacción, basta con que esté presente.

Para verificar lo anterior, se diseñaron dos preguntas relacionadas con este concepto. La primera (número 7 en el cuestionario) se centró en el lenguaje con el fin de investigar cómo conciben los alumnos la acción del catalizador:

- en el inciso a no se le atribuye un papel concreto sino solamente se requiere *su presencia*, como si se tratara de algo mágico.
- en el inciso b el catalizador tiene una acción un poco más directa interaccionando con las moléculas de hidrógeno y nitrógeno.
- el inciso c podría considerarse la opción más cercana al modelo aceptado en la actualidad: “se produce un rearrreglo electrónico con el sistema tal como se observa en una reacción química. El resultado es la fijación de la molécula en la superficie a través de una adsorción química o quimisorción” (Fuentes y Díaz 1999).

En la revisión de los resultados, la primera observación es la diferencia de más de 20 puntos porcentuales en el inciso a entre los grupos CM y SM, sólo un alumno en el CM lo seleccionó, a pesar de que en clase no se explicitó la idea de asignar un papel más concreto a la acción del catalizador. En el grupo SM, 23.9% de los estudiantes consideró correcta la idea de que es suficiente *la presencia* del catalizador; es significativo si se considera que el cuestionario se aplicó al grupo CM una semana después de realizada la estrategia de modelación de la reacción de Haber. En los incisos b y c hay una diferencia de más de 20 puntos porcentuales en cada uno, el grupo CM a favor de asignar un papel más activo al catalizador. Para la calificación de la prueba se consideró c como respuesta correcta.

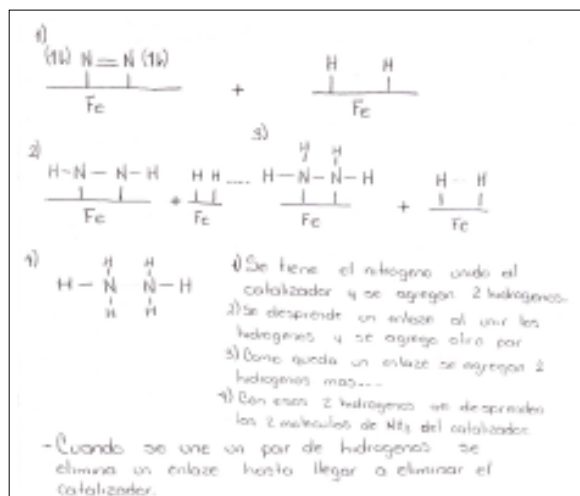
La pregunta número 8 fue diseñada tomando como base la idea de que los alumnos no le asignan un papel concreto al catalizador en las reacciones químicas:

- en el inciso a se nota que en el estado intermedio no hay ningún contacto entre los reactivos y el catalizador. Los productos se obtienen independientemente de éste;
- en los incisos b y c sí existe contacto, la diferencia es que en el estado intermedio en un caso hay átomos libres en el catalizador y en el otro caso no;
- en el inciso d se parte de átomos libres y no hay ningún cambio en el proceso;
- el resultado para el inciso a es de llamar la atención, una diferencia de 26 puntos porcentuales entre los dos grupos; 34.8% de alumnos del grupo SM seleccionaron la opción en donde no hay ningún contacto entre los reactivos y el catalizador. Del grupo CM, la seleccionó 8.9%. Los incisos b y c donde, mediante los dibujos, se le asigna un papel más activo al catalizador, fueron seleccionados en total por 88.8% de alumnos en el grupo CM, contra 39.1% del SM.

Entender el papel del catalizador en las reacciones químicas es, sin duda, un asunto complicado, una vez que requiere la concertación de varias interacciones de manera sincrónica. Ésa parece ser una de las mayores dificultades en su aprendizaje como se observa en la figura 1. Sin embargo, tal como lo muestran los resultados aquí obtenidos la estrategia de modelización permite enfrentar su aprendizaje de mejor manera.

FIGURA 1

Representación de la reacción de Haber de dos alumnas del GM



Bloque 3: sobre el lenguaje de la química

Ya en un estudio realizado en 1985, Yarroch encontró que 35% de los alumnos de bachillerato que formaban parte de su investigación eran incapaces de representar de manera adecuada las reacciones químicas balanceadas. Lo anterior simplemente indica la dificultad asociada con el lenguaje de la química, asunto espléndidamente tratado por uno de sus principales practicantes, R. Hoffmann, premio Nóbel en 1981, quien explica que cuando se escribe una fórmula se realiza un complejo proceso: “El proceso es representación, una transformación simbólica de la realidad. Es al mismo tiempo gráfico y lingüístico. Tiene su propia historia. Es artístico y científico. El proceso representacional en la química es un código compartido de esta subcultura” (Hoffmann y Lazlo, 1991).

Con la anterior salvedad, las preguntas 2 y 3 se refieren a la diferencia entre átomos y moléculas y cómo éstas son representadas a través del lenguaje de la química. Aunque la primera de ellas es una pregunta de bajo nivel de dificultad y que la mayoría optó por la opción correcta, no deja de sorprender que, en un caso, 6 de 45 alumnos no sepan cómo representar $2H$ y, en el otro caso, 14 de 46, ¡casi la tercera parte! En la segunda se trata de representar a una de las moléculas más simples, la de hidrógeno. Si bien es cierto que la inmensa mayoría contesta acertadamente, en el grupo CM, 6 alumnos de 40, y 8 de 46 no supieron cómo representarla;

4 de los 6 alumnos del grupo CM son los mismos que no supieron representar 2H en la pregunta anterior, mientras que de los 8 alumnos del grupo SM, 6 no acertaron en la pregunta anterior.

Las preguntas 4 y 5 buscan reconocer si los alumnos entienden la diferencia a través de la representación del lenguaje entre una o dos moléculas. A pesar de su bajísimo nivel de dificultad (una gran mayoría de los que opinaron sobre el cuestionario la calificaron como muy clara y muy fácil), la intención de incluir la pregunta 4 fue comparar los resultados con los de la siguiente para investigar si la introducción del coeficiente presenta dificultades adicionales en la representación de la estructura molecular. En esta pregunta no se nota diferencia entre CM y SM, en cada uno de los casos sólo un alumno seleccionó otra opción. El resultado de la pregunta 5 indica que, efectivamente, la presencia del coeficiente presenta dificultades para algunos alumnos. En el grupo CM, 3 alumnos de 45 piensan que las dos moléculas de amoníaco deben estar unidas como si fueran una sola, en el grupo SM esta misma consideración la hacen 15 alumnos de 46, casi la tercera parte.

Finalmente, en las preguntas 6 y 10 se recuperan algunas de las ideas anteriores concentrándose en el producto de la reacción de Haber (dos moléculas de amoníaco). Particularmente en la 10 se relacionan dos tipos de lenguaje: las fórmulas y su descripción escrita. Aunque está referida a una fórmula muy simple, los resultados difieren de manera notable en los dos grupos. El grupo CM mayoritariamente (53.3 %) considera que 2NH_3 son dos moléculas formadas por cuatro átomos cada una; en contraste, el grupo SM (63%) piensa que se trata de dos átomos de nitrógeno y seis de hidrógeno. Son dos ideas contrastantes, en una existen moléculas, en la otra, átomos aislados.

Conclusiones

Con la cautela que debe derivarse de un estudio con una muestra tan pequeña, pero que permite indicar lineamientos generales, la estrategia de construcción de modelos ayuda a mejorar la comprensión de los estudiantes sobre el significado de coeficientes y subíndices en las fórmulas químicas de los compuestos involucrados en la reacción de Haber; también sirve para que relacionen de mejor manera el lenguaje simbólico de las fórmulas con su representación mediante dibujos y con su descripción verbal. Además en las dos preguntas relacionadas con el catalizador existe una

diferencia mayor entre los grupos CM y SM, el primero a favor de asignarle un papel más activo al catalizador en las reacciones.

Si tomamos en cuenta las aportaciones de la moderna psicología cognitiva, no podemos seguir considerando a las inteligencias lógica-matemática y verbal como las únicas válidas en el proceso educativo. Es necesario incorporar estrategias y medios en la enseñanza y hacer explícitas las diferentes formas de representación que utilizamos en química para que los alumnos puedan conocer y relacionar lo simbólico de fórmulas y ecuaciones, con los modelos icónicos y así, familiarizarse con los códigos utilizados por los químicos en sus representaciones.

Para colaborar en la construcción de modelos mentales cercanos a los científicos nos sirve el trabajo con representaciones de diverso tipo, ayudándonos de materiales de muchas clases incluyendo, desde los más sencillos y accesibles como la plastilina y los palillos, hasta la utilización de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, siempre y cuando se discuta con el alumno el significado, el sentido, la implicación y el alcance de tales representaciones. Las imágenes y los modelos en general, no hablan por sí solos, es necesario argumentar sobre ellos.




Aunque es común pensar que “una imagen vale más que mil palabras”, esto no es así, lo que vemos requiere interpretación, y esta interpretación depende de lo que sabemos con anterioridad. La química como construcción humana requiere del aprendizaje de un lenguaje específico y de una manera especial de “ver”.

Apéndice

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Nombre: _____

EN EL PRESENTE CUESTIONARIO, IDENTIFICAREMOS A LOS ÁTOMOS ASÍ:

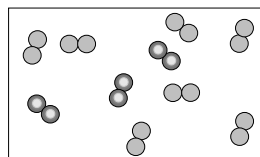
Un átomo de hidrógeno lo representamos:	
Un átomo de oxígeno lo representamos:	
Y un átomo de nitrógeno lo representamos:	

CONTINÚA

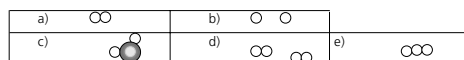
ENCIERRA EN UN CÍRCULO LA RESPUESTA QUE CONSIDERES ADECUADA:

1. Probablemente habrás oído decir que la materia está formada por pequeñas partículas tales como átomos y moléculas. Si representamos a las partículas de los distintos gases que componen una pequeña muestra de aire así:
¿Qué hay entre éstas partículas?

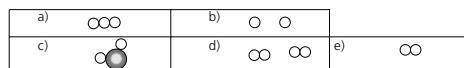
- a) Más aire
b) Otros gases
c) Nada
d) Una sustancia muy ligera que lo rellena todo
e) No sé



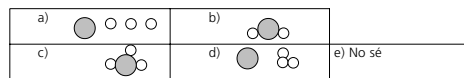
2. La especie $2H$ se representa de la siguiente manera:



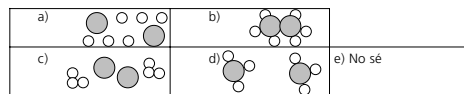
3. El H_2 se representará de la siguiente manera:



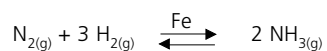
4. El amoníaco NH_3 se representará de la siguiente manera:



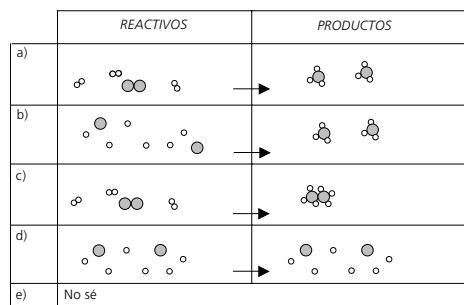
5. $2NH_3$ se representará de la siguiente manera:



6. La ecuación que corresponde a la reacción de Haber para la obtención de amoníaco se escribe:



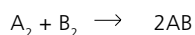
El esquema que representa a reactivos y productos es:



7. ¿Que frase describe mejor el papel del hierro en la reacción de Haber?
- a) El nitrógeno y el hidrógeno reaccionan en presencia de hierro para producir amoníaco.
b) El nitrógeno y el hidrógeno interaccionan con el Fe, debilitando sus enlaces y haciendo más fácil la ruptura y la formación de nuevos enlaces.

- c) El Fe ayuda a romper los enlaces del nitrógeno y el hidrógeno para formar nuevos enlaces y producir amoníaco.
- d) El nitrógeno y el hidrógeno reaccionan con el Fe y se descomponen para unirse después y producir amoníaco.
- e) No sé.

8. En una reacción

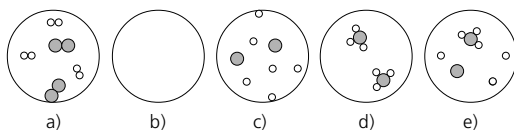
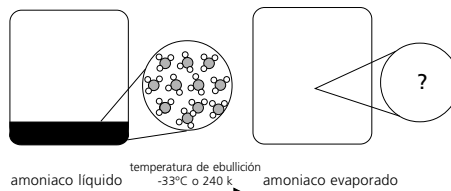


el esquema que mejor representa el papel del catalizador es:

	REACTIVOS	PRODUCTOS
a)		
b)		
c)		
d)		
e)	No sé	

9. El círculo a la derecha muestra una vista aumentada de una porción muy pequeña de amoníaco líquido en un envase cerrado.

¿Cuál de los siguientes dibujos corresponde al amoníaco evaporado?



10. Cuando escribimos $2NH_3$ estamos representando:

- a) Una molécula formada por seis átomos
- b) Dos moléculas formadas por tres átomos cada una
- c) Dos moléculas formadas por cuatro átomos cada una
- d) Dos átomos de nitrógeno y tres átomos de hidrógeno
- e) Dos átomos de nitrógeno y seis de hidrógeno

Gracias por tu participación

Notas

¹ Una versión preliminar y parcial de este trabajo, con el nombre de *The learning of chemistry through iconic models*, se presentó en el symposium Models and modeling del Congreso ESERA 2005, Barcelona.

² Ambos grupos eran del mismo turno y tuvieron diferente profesor. Para evitar en lo posible que esto último pudiese afectar el resultado de la prueba, se buscó que ambos maestros fueran semejantes en cuanto a los años de expe-

riencia docente, formación académica (por ejemplo los dos eran recién egresados de la maestría en Educación en Ciencias de la BUAP) y metodologías empleadas. Además, se cuidó que fueran iguales los contenidos de cada curso, así como el número y tipo de exámenes aplicados, siendo la principal diferencia la estrategia de modelación utilizada en uno de los grupos.

³ Hemos seguido esta terminología según lo reportado en: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/>

Referencias

- Achinstein, P. (1987). *Los modelos teóricos. Seminario de problemas científicos y filosóficos*, México: UNAM.
- Bachelard, G. (1981). *La formación del espíritu científico*, México: Siglo XXI.
- Bailar-Jones D. (2002). "Models", en Machamer, P. y Silbestein M. (eds.) *Metaphors and analogies in philosophy of science*, Oxford: Blackwell Publishers.
- Benson, D. L.; Wittrock, M.C. y Baur, M.E. (1993). "Students' preconceptions of the nature of gases", *Journal of Research in Science Teaching* 30 (6) 587-597.
- Brown, T. L.; LeMay, H. E. y Bursten, B. (1997). *Química. La ciencia central*, 7ª ed., México: Pearson.
- Caamaño, A. (2003). "Modelos híbridos en la enseñanza y el aprendizaje de la química", *Alambique*, 35, pp. 70-81.
- Chamizo, J. A. (2003). *Hacia una cultura científica básica I. Conocimientos de química*, México: Dirección General de Investigación Educativa-Subsecretaría de Educación Básica y Normal-SEP.
- Chamizo, J. A.; Nieto, E. y Sosa, P. (2004), "La enseñanza de la química. Tercera parte. Evaluación de los conocimientos de química desde secundaria hasta licenciatura", *Educación Química*, 15, pp. 108-112.
- Chamizo, J. A. (2006). *Química dialéctica. Sobre aprendizaje, modelos y realidad* (por publicarse en *METL. Papeles de Investigación Educativa*, Facultad de Química, UNAM).
- Chang, R. (1994). *Química*, 4ª ed., México: McGraw Hill.
- Driver, R.; Newton, P. y Osborne J. (2000). "Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms", *Science Education*, 84, pp. 287-312.
- Erduran, S.; Duschl R. (2004). "Interdisciplinarity characterization of models and the nature of chemical knowledge in the classroom", *Studies in Science Education*, 40, pp. 111-144.
- Fuentes, S. y Díaz, G. (1999). *Catalizadores. ¿La piedra filosofal del siglo XX?*, col. La ciencia para todos, México: SEP.
- Giere, R.N. (1997). *Understanding scientific reasoning*, Forth Worth: Harcourt Brace College Publishers.
- Gilbert, J. K. y Boulter, C. J. (2000). *Developing models in science education*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Habraken, C. L. (1996). "Perceptions of chemistry: Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences, so distorted?", *Journal of Science Education and Technology*, vol. 5, pp. 3-10.
- Hernández, S. R.; Fernández, C. C. y Baptista, L. P. (2000). *Metodología de la investigación*, 2ª ed., México: McGraw Hill.
- Hoffmann, R. y Lazlo P. (1991). "Representation in chemistry", *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 30, pp. 1-16
- Izquierdo, M. y Adúriz, A., (2003). "Epistemological foundations of school science", *Science Education*, 12, 27-43
- Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002). "Models and modelling in chemical education", en Gilbert *et al.*, *Chemical education: Towards research-based practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Kiefer, D. M. (2001). "Capturing nitrogen out of the air", *Chemistry Chronicles. Today's Chemist at Work*, vol. 10, núm. 2.
- Kind V. (2004). *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*, México: Santillana/Facultad de Química.
- Kleinman, R. W.; Griffin, H. C. y Konigsberg, K. N. (1987). "Images in chemistry", *Journal of Chemical Education*, 64, pp. 766-770.
- Lijnse P. L. *et al.* (eds) (1990). *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, Utrecht: Centre for Science and Mathematics Education-University of Utrecht.
- Lythcott, J. (1990). "Problem solving and requisite knowledge of chemistry", *Journal of Chemical Education*, 67, pp. 248-252.
- Márquez, J. R. (2004) *Representaciones moleculares. Una experiencia didáctica alrededor de la reacción de Haber*, tesis de maestría, México: BUAP.
- Mulford, D. y Robinson, W. (2002). "An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students", *Journal of Chemical Education*, vol. 79, núm. 6.
- Novick, S. y Nussbaum, J. (1981). "Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study", *Science Education* 65 (2), 187-196.
- Paxman, J. y Harris, R. (1982). *A higher form of killing: The secret story of chemical and biological warfare*, Nueva York: Hill and Wang.
- Yarroch, W. L. (1985). "Student understanding of chemical equation balancing", *Journal of Research in Science Teaching*, 22, pp. 449-459.
- Zmaczynski, R. (1998). *History of science*, Princeton: Princeton University Press.

Artículo recibido: 8 de febrero de 2006

Dictamen: 30 de mayo de 2006

Segunda versión: 20 de junio de 2006

Aceptado: 28 de junio de 2006