

## Enseñar ciencias en la secundaria más allá de las apariencias

Kind, Vanessa, *Más allá de las apariencias. Las ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*, Santillana-Facultad de Química de la UNAM, 2004. 157 p

Traducción realizada por Silvia Bello, José Antonio Chamizo, Gisela Hernández, Glinda Irazoque, Elizabeth Nieto, Pilar Rius, Plinio Sosa y Luis Miguel Trejo, del Seminario de Investigación Educativa de la Facultad de Química, UNAM.

Armando Sánchez Martínez,\* Leticia Gallegos\*\* y Andoni Garritz\*\*\*

*Este libro es un ejemplo raro de una traducción que sale primero a la luz, antes que la versión en el idioma original. La historia es la siguiente: Todo parte del escrito que Vanessa Barker (2000) hizo para la Royal Society of Chemistry, que consideró que había la necesidad de reunir las investigaciones sobre los “errores conceptuales” de los estudiantes en química. Se hizo accesible desde el año 2000, en forma de un artículo en formato PDF, a través de la URL: <http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>. Allí lo consultaron los miembros del Seminario de Investigación Educativa de la Facultad de Química de la UNAM, a quienes les pareció muy adecuado realizar la traducción de ese material, para lo cual se pusieron en contacto con Vanessa Barker y con la editorial Santillana. Vanessa, quien resultó que para entonces se había casado y adquirido el nombre de Vanessa Kind, les informó que estaba llevando a cabo la actualización del escrito y que era preferible terminarlo para hacer la traducción. La traducción se ha realizado y ha resultado impresa, antes de que se haya vertido la nueva versión en inglés sobre aquella dirección electrónica.*

El título principal del libro de Vanessa Kind (2004) “Más allá de las apariencias” permite, además de ser un eje para comentarlo con mucha coherencia, introducir elementos para el debate de por qué, qué y cómo enseñar química en la educación secundaria que, en nuestro país, sólo incluye de los grados séptimo al noveno de la educación básica. Lo anterior tiene especial relevancia en México en este momento, dado que se está discutiendo la renovación curricular, como parte de la Reforma Integral de la Educación Secundaria (RIES),<sup>1</sup> y, dentro de ésta, la propuesta curricular para Ciencia y Tecnología.<sup>2</sup>

### A manera de introducción

Una vez que la Química empezó a explicar de qué

están hechas las cosas y por qué se pueden transformar unas en otras, rápidamente se convirtió en una generadora de su propio conocimiento. Esto es, la Química le ha permitido al ser humano inventar una gran cantidad de materiales que de forma natural no están presentes en la Tierra, por lo que la existencia de productos artificiales invade nuestra vida cotidiana y expande el universo de estudio de la química. Si tomamos como referencia a Lavoisier como el padre de esta ciencia, a finales del siglo XVIII, cobra sentido por qué la afirmación comentada acerca de la rapidez. Ahora bien, aprender a manipular los materiales y, más específico, las sustancias que los componen, no implica entender de qué están hechas y



<sup>1</sup> Es importante aclarar que dicha reforma no se centra en lo curricular, sino que pretende incidir en la organización escolar, para lo cual habría que transformar también la gestión institucional, además de requerirse el replanteamiento de los programas de actualización dirigidos a los docentes, directivos y equipos técnicos, así como del ajuste de los de formación inicial. Lo anterior implica un uso más eficiente de los recursos humanos, materiales y financieros. De ahí su denominación como integral. Para mayor información consultar [www.ries.dgmmse.sep.gob.mx](http://www.ries.dgmmse.sep.gob.mx)

<sup>2</sup> Su diseño parte de un esfuerzo de articulación curricular y pedagógica, que implicó replantear el esquema conceptual para la enseñanza y el aprendizaje de dicha área en los tres niveles de educación básica, para empezar, haciendo más explícita la relación entre ciencia y tecnología sin subordinar una a la otra. La elaboración de la propuesta tiene como antecedente inmediato la realización de dos seminarios internacionales organizados por la SEP en México en 2001 y 2002, que dieron como resultado el libro *Retos y perspectivas de las ciencias naturales en la escuela secundaria* (Waldegg et al., 2003), el cual fue un referente de la misma.

\* Director de Ciencias Naturales, Secretaría de Educación Pública, México.

\*\* Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM.

\*\*\* Facultad de Química de la UNAM.

por qué y cómo se transforman, lo cual representa el objeto de estudio de la Química o el corazón de ésta. Es más, ser un buen manipulador de sustancias, que correspondió por mucho tiempo a una de las labores fundamentales de los químicos, no conlleva necesariamente al descubrimiento de muchos nuevos compuestos, o sea, a combinaciones de átomos diferentes a las conocidas. Lo anterior, menos en nuestros tiempos, en los cuales los químicos han forzado la naturaleza de tal manera que han podido crear nuevas formas alotrópicas de los elementos, como los fullerenos, que hasta hace poco eran difíciles siquiera de imaginar y menos que pudieran tener aplicaciones tecnológicas. Entender lo antes planteado, implica, irreductiblemente, introducir elementos sobre la naturaleza discreta o corpuscular de la materia, de ahí lo acertado del título “más allá de las apariencias”. Este título se refiere, sin duda, a que los conocimientos previos de los estudiantes, producto de su sentido común, o sea, “las apariencias”, no tienen mucho que ver con el conocimiento científico de los fenómenos. Hay que ir más allá de éstas para lograr que los alumnos comprendan los conocimientos científicos alrededor de la química, lo que obliga a entrar al submicrocosmos.

Algunas propuestas de enseñanza explotan lo espectacular y lo llamativo de la Química, dejándola tan sólo como parte de una representación teatral llena de magia y, por lo tanto, de misterio, por lo que los alumnos no entienden por qué ocurren los fenómenos que se les presentan o que, inclusive, manipulan. ¡Ni modo! Si se pretende que los alumnos logren una primera aproximación al mundo de la Química, es necesario que comprendan las ideas abstractas centrales de ésta. Lo anterior está relacionado con la pretensión de apostarle a una enseñanza centrada en la comprensión (Perkins, 2000) para así “lograr aprendizajes significativos en los alumnos, sin dejar de reconocer que no es una tarea fácil. Y no lo es, porque la explicación de cualquier fenómeno o proceso natural requiere develar la o las causas de éstos, las cuales no son de acceso inmediato o mediante los sentidos”.<sup>3</sup> Es más, develar la esencia o causa de los fenómenos, demanda introducirse en el mi-

crocosmos o en el macrocosmos, los cuales son ajenos a nuestras percepciones y requieren de un alto grado de abstracción” (Sánchez, 2004).

En esta reseña se describirán algunos aspectos de los cuatro primeros capítulos de la obra de Kind, que muestran los resultados de investigaciones educativas sobre las concepciones de los alumnos y las sugerencias de la autora para la enseñanza de las mismas.

### **Las ideas previas de los alumnos sobre los materiales y la naturaleza discreta o corpuscular de la materia**

En el capítulo 1, “Estados de agregación de la materia”, Kind presenta las ideas ingenuas de los alumnos sobre ésta, las cuales basa en el hecho de que “hasta la edad cercana a 14 años, parece que los niños sólo confían en la información sensorial”, o sea, en el “ver para creer”, lo cual les impide asociarla con la naturaleza corpuscular de la materia, ya que en el fondo conciben a las sustancias como continuas. A este respecto piensan los niños, por ejemplo, que una sustancia sólida que no sea rígida no puede considerarse sólida realmente (como el talco o el azúcar). Crean, por lo tanto, que existen más de tres estados de la materia, como el sólido, el líquido, el polvo, la pasta, el lodo, el papel, el gaseoso, etcétera.

Al final del primer capítulo la autora presenta tres asuntos claves para la enseñanza relacionados con estas ideas ingenuas:

- i “Los niños no razonan de manera consistente –hacen uso del razonamiento sensorial en algunas ocasiones y del razonamiento lógico en otras.
- ii “La experiencia sensorial domina en casos donde la materia no es visible. Esto conduce a que muchos estudiantes de 15 años de edad y mayores continúen usando el razonamiento sensorial acerca de la materia a pesar de tener un pensamiento lógico avanzado en otras áreas, como matemáticas.”

La autora refiere que “los estudiantes continúan usando ideas ingenuas al resolver problemas sobre partículas más allá de los 15 años”. Como Bodner (1991) lo ha demostrado, las ideas previas de los alumnos permanecen aún cuando están estudiando el doctorado, o cuando se convierten en profesores.

En el capítulo 2, Kind presenta las dificultades de los alumnos sobre la naturaleza corpuscular de la materia y que, en el fondo, están relacionadas con la forma de percibir nuestro entorno. Un problema ya clásico,

<sup>3</sup> Karel Kosik (1979) planteó desde la década de los sesenta esta contradicción dialéctica de una manera magistral, al decir que el fenómeno oculta a la esencia y que por esa razón son necesarias la ciencia y la filosofía, ya que nos movemos en el mundo de la pseudoconcreción y para develarlo hay que dar muchos rodeos.

que ilustra lo anterior, es el informado ampliamente por Driver *et al.*, (1985), y que Kind también menciona: la dificultad de concebir que la materia está formada de partículas entre las que existe un espacio vacío, mismo que los alumnos tienden a rellenar con algo por considerarlo hasta cierto punto como no natural.

Un aspecto muy importante, sin embargo, plantea que “las evidencias indican que la enseñanza genera cambios rápidos en la manera de pensar de los niños... El proyecto CLIS,<sup>4</sup> que involucró a niños de 15 años de edad, informa que más de la mitad usó ideas corpusculares en respuesta a un gran número de preguntas que abarcaban los tres estados de agregación de la materia”. Esta última reflexión fundamenta el por qué insistir en introducir en los cursos de química de la secundaria temas relacionados con la naturaleza corpuscular de la materia. La autora misma refiere que “en el Reino Unido, la enseñanza formal acerca del modelo corpuscular se lleva a cabo con alumnos entre 11 y 14 años de edad.”

Este segundo capítulo termina con las siguientes sugerencias didácticas:

- “Adelántese al problema. Sea honesto ya que la invisibilidad de las partículas a simple vista implica que nuestra mente ‘ve’ los materiales como si fueran continuos.”
- “Haga visibles las partículas. Proporcione a los estudiantes una idea del tamaño de las partículas, muéstrelas su ‘pequeñez’ mediante diferentes imágenes, del microscopio, de objetos pequeños que normalmente no podemos ver a simple vista. Introduzca la idea de un “atomoscopio” –microscopio especial que puede usarse para mirar los átomos... átomos...”
- “Integre la idea de las partículas con otros temas... Utilice la terminología de las partículas al hablar sobre reacciones químicas o cambios de estado, por ejemplo, ‘las partículas de sodio’ y las ‘partículas de cloro’... Apoye esto con modelos o imágenes de las partículas. Introduzca las ecuaciones simbólicas lo más pronto posible...”
- “Use preguntas de diagnóstico. Explore el pensamiento de los estudiantes por medio de situaciones que puedan explicar...”

En el capítulo 3 se discute sobre la forma en que los problemas de la teoría corpuscular afectan la com-

prensión de los alumnos sobre el comportamiento de los gases y los cambios de estado.

En el primer caso los estudiantes aplican la idea de fuerzas de cohesión y repulsión para explicar el calentamiento y enfriamiento de un gas. De esta manera, cuando un gas se calienta sus partículas aumentan su movimiento y “son forzadas a separarse”, lo que implica la presencia de una fuerza de repulsión. Sin embargo, cuando un gas se enfría, los alumnos recurren a expresiones descriptivas como que las partículas se encogen, hunden, condensan o calman. La noción de enfriamiento como disminución de movimiento de partículas lleva a los estudiantes a pensar en la licuefacción de un gas. Al respecto, Novick y Nussbaum (1981) han encontrado que una idea generalizada sobre el fenómeno, en estudiantes hasta de niveles universitarios, se debe más al aumento de las fuerzas de atracción que a la disminución del movimiento de las partículas.

En cuanto a los cambios de estado se analizan las ideas de los niños sobre evaporación, condensación, fusión y congelación. En general, los niños pequeños tienden a dar explicaciones de tipo macroscópico, mientras que los mayores incorporan nociones de un modelo de partículas. Por ejemplo, entre las explicaciones sobre la evaporación se observa que, para los niños pequeños, el agua se convierte en humedad o desaparece, con la edad aparece una confusión entre el peso y la densidad de un gas que lleva a explicar la evaporación como un cambio de peso y no como un cambio en la densidad. En aquellos estudiantes que consideran un modelo corpuscular es frecuente encontrar que piensan que en la evaporación la molécula de agua se rompe en hidrógeno y oxígeno (Bodner, 1991).

El problema de la condensación del agua sobre una jarra de vidrio tapada que contiene hielo lleva a los estudiantes a expresiones macroscópicas como “el agua cruza a través del vidrio”, “el frío pasa a través del vidrio”, y aquellos de mayor edad que utilizan un modelo de partículas no expresan ideas “de fuerzas intermoleculares o de la pérdida de energía cinética”. En el caso de la fusión los estudiantes que utilizan un modelo corpuscular frecuentemente hacen uso de expresiones que trasladan las ideas macroscópicas a las partículas: “A medida que la temperatura aumenta, las partículas entran en calor y comienzan a expandirse”. En el caso de la congelación se presenta una confusión entre los términos de fundir y congelar. Resalta también que los estudiantes aceptan que ocurran ciertos procesos

<sup>4</sup> Por sus siglas en inglés. En español “Aprendizaje de Ciencias de los Niños”.

para el agua pero no para otras sustancias, tal es el caso de la reversibilidad en el cambio de estado.

Como puntos clave para mejorar la comprensión la autora señala:

- “Proporcione una extensa variedad de sustancias... Promueva la investigación de los cambios de estado con sustancias de uso cotidiano.”
- “Ponga en duda el modelo de ‘las moléculas que se pueden romper’... Se recomienda hervir agua... Pedirles que escriban lo que ellos piensan que hay en las burbujas cuando el agua hierve... Pedir a unos cuantos estudiantes que expliquen su razonamiento... una parte de ellos sugerirá que de hidrógeno y oxígeno.”
- “Refuerce el uso del modelo corpuscular. Use imágenes visuales para explicar lo que sucede cuando ocurre un cambio de estado. Discuta por qué las temperaturas para la transición entre los estados difieren...”
- “Considere cómo presentar los cambios de estado como reversibles. Los estudiantes necesitan ver los ciclos de calentamiento y enfriamiento, de tal manera que puedan darse cuenta de que nada ha sido añadido o sustraído de la sustancia.”

En el capítulo 4, se presentan las diferencias entre elementos, compuestos y mezclas. A partir del modelo corpuscular varios autores han encontrado que: “...cerca de la mitad de los estudiantes consideraron cualquier diagrama que contuviera diferentes símbolos para los átomos, en la posición que fuera, como una representación de una mezcla”. La aplicación de las características macroscópicas a las microscópicas se ve nuevamente reflejada en la identificación de un elemento, por ejemplo, se transfieren las propiedades físicas de una sustancia a sus átomos.

### Algunas dificultades e ideas clave

Después de estos cuatro capítulos iniciales, Kind revisa las ideas de los alumnos relacionadas con cambios de estado, diferencias entre elementos, compuestos y mezclas, así como de los procesos químicos, dentro de los cuales incluye diferentes tipos de éstos, ácidos y bases, estequiometría, enlace químico, termodinámica y equilibrio químico.

Destacamos a continuación algunas dificultades clave que se involucran, según la autora, en la enseñanza de la Química:

- Enseñar la noción de sustancia antes de las de átomos y moléculas. Lo anterior requiere de introducir otras ideas de componente (material,

objeto, pureza y cambio químico), lo cual dificulta el asunto, sobre todo por carecerse del punto de vista del químico sobre el concepto “sustancia”.

- El problema del lenguaje en la enseñanza de la química. “La química como todas las ciencias tiene un vocabulario distinto con significados muy específicos. Una buena parte de la enseñanza y el aprendizaje de la química consiste en incorporar este lenguaje en forma tal que ayude a los alumnos a desarrollar la comprensión de los conceptos químicos.”
- Estrategia tradicional para enseñar química. “Es una práctica común desarrollar la enseñanza de la química de manera jerárquica; se plantea a partir de la naturaleza corpuscular de la materia, pasa por la separación de mezclas y la distinción entre elementos, compuestos y mezclas, hasta llegar a las reacciones químicas, conceptos importantes como enlace químico, velocidades de reacción y así sucesivamente. El éxito de esta estrategia de enseñanza es limitado.”
- Aunque los alumnos introduzcan “reacción química” para describir algunos fenómenos no saben qué significa. “Muchos alumnos no distinguen de manera consistente entre un cambio químico, una disolución y un cambio de estado...”
- El papel del oxígeno en las combustiones casi no se comprende. La autora explica que la atmósfera es invisible para el ojo humano, razón por la cual los alumnos no perciben la participación del oxígeno en las reacciones de combustión en sistemas abiertos.
- Se asimilan más fácilmente las propiedades de los ácidos que las de las bases. Algunos estudiantes llegan a pensar que las bases no tienen acción corrosiva alguna. La autora recomienda presentar la enseñanza de los ácidos y las bases al mismo tiempo.
- El mol se enseña como una idea matemática abstracta. Nos recomienda la autora que se refuerce en este punto la pequeñez del tamaño de los átomos y la enormidad de ellos que caben en un mol.
- Hay que tener cuidado con la idea antropomórfica de que los átomos “quieren” formar enlace. Y de que lo hacen siguiendo la regla del octeto. La regla de Lewis es violada en tal cantidad de ocasiones, que resulta ser mala como “regla” de comportamiento. Si bien, la regla del octeto es un principio heurístico que funciona para explicar el enlace

en la mayoría de las sustancias que se estudian en los primeros años escolares, no existe en ella en realidad ningún principio explicativo.

Al final del libro destaca la autora lo que para ella son los principios fundamentales de la química, como los retos en los que los docentes deberían centrar su atención: la teoría corpuscular y el cambio químico, lo que refuerza su enfoque metodológico para enseñar Química en la secundaria y en el bachillerato, o sea, ir “más allá de las apariencias”, lo cual implica, también, desarrollar habilidades matemáticas. Esta propuesta implica, necesariamente, rebasar el tratamiento meramente fenomenológico de los procesos químicos, así como el pretender centrar la enseñanza de la química sólo con la discusión de la relación de ésta con la tecnología y sus implicaciones sociales.

Los dos principios fundamentales tienen que ver con dos ideas claves:

1. Las partículas no tienen las propiedades macroscópicas de las sustancias.
2. La reacción química como proceso que implica un rearrreglo de átomos o que aunque un átomo mantiene su identidad durante una reacción química, una molécula no.

### Recomendaciones

El libro comentado es muy útil ya que cierra todos los capítulos con dos secciones eminentemente didácticas: “Resumen de las principales dificultades para la enseñanza” y “Sugerencias para mejorar la comprensión”. Plantearemos ahora las que consideramos como más generales y que pudieran servir de guía a los docentes para definir sus estrategias de aprendizaje:

- Dar tiempo para trabajar las ideas clave.
- Trabajar con los significados en vez de “enseñar” términos sueltos.
- Usar imágenes, analogías o modelos. Hacer visibles las partículas (“atomoscopio”).
- Integrar la idea de partículas en diversos temas.
- Presentar procesos químicos que obliguen a pensar sobre lo que se ve y así reconocer que se forman nuevas sustancias.
- Estimular la observación, el cuestionamiento y la argumentación para ayudar a desarrollar de manera más clara la noción de “reacción química”.
- Experimentar para provocar conflicto cognitivo.
- Utilizar modelos moleculares para mejorar la comprensión del enlace químico.

### Conclusiones

El libro de Kind refuerza la necesidad de trabajar nociones asociadas a la naturaleza corpuscular de la materia y la reacción química en la secundaria y el bachillerato para poder lograr el desarrollo gradual que muestran los estudiantes en algunas investigaciones, de los cuales el libro da cuenta suficiente.

El poner este libro a la consideración de los maestros implica llevar el trabajo de cientos de investigadores educativos a la mano de los que se enfrentan a la enseñanza en el aula, los profesores. Sin duda un paso crucial para hacer efectivos los hallazgos más recientes de la investigación acerca de cómo es que comprenden nuestros alumnos. ■

### Bibliografía

- Barker, V., Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas. *A report prepared for the Royal Society of Chemistry*, versión electrónica que puede tomarse de la URL: <http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>, p. 1-79, 2000.
- Bodner G. M., I have found you an argument. The conceptual knowledge of beginning chemistry graduate students, *Journal of Chemical Education*, **68**(5), 385-388, 1991.
- Driver, R., E. Guesne y A. Tiberghien, *Children's Ideas in Science*, Open University Press, Philadelphia, 1985.
- Kind, V., *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*, Aula XXI/Santillana-Facultad de Química, UNAM, México, 2004.
- Kosik, K., *Dialéctica de lo concreto*, Editorial Grijalbo (quinta reimpresión), México-Buenos Aires, 1967.
- Novick, S. y Nussbaum, J., Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-age Study, *Science Education*, **65**(2), 187-196, 1981.
- Perkins, D., *La escuela inteligente. Del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente*, SEP (Biblioteca para la actualización del maestro)/Gedisa, México, 2000, 1979.
- Sánchez, A., “¿Por qué y para qué enseñar ciencia y tecnología en educación básica?”, en *Revista Fuerza del Rincón*, No. 2, SEC-Puebla, México (en prensa), 2004.
- Waldegg, G., A. Barahona, B. Macedo y A. Sánchez (coordinadores), *Retos y perspectivas de las ciencias naturales en la escuela secundaria*, SEP (Biblioteca para la actualización del maestro), México, 2003.