

Ponencia de José Antonio Chamizo al recibir el premio Nacional de Química "Andrés Manuel del Río" 1994, Mazatlán, Sin., 20 de septiembre de 1995

Enseñar lo esencial acerca de lo más pequeño

*Toda enseñanza debiera tender a vivir perpetuamente
delante de sí misma. Todos los pedagogos debieran a
veces considerarse como los conquistadores de lo posible,
no como los archivistas y repetidores de lo ya conocido.*

El niño es un ser por hacer.

G. Jean

Abstract

Relevant aspects of the traditional teaching of atomic concepts are discussed. A comparison among the history of the development of atomic ideas, particularly its rejection for the French chemists last century, constructivism and the misconceptions of today's children and poetry was made.

Introducción

La teoría atómica, en su nivel químico, no es ninguna novedad a



Figura 1. "Oh, gigantesca paradoja, demasiado monstruosa para tener solución", Edgar A. Poe (1958).

finales del siglo XX. Los átomos "descubiertos" por los químicos de principios del siglo pasado forman parte obligatoria de la enseñanza de nuestra disciplina, desde la secundaria hasta la universidad. Después de una larga lucha de los químicos que la aceptaban contra químicos y físicos escépticos, que duró prácticamente hasta el presente siglo, la teoría atómica ocupa un nivel central en la enseñanza de la química. Para los que nos dedicamos a "trabajar" con ella nos parece obvio y fácil de aceptar que la materia sea discontinua, pero no es así para todos. Octavio Paz lo explica de la siguiente manera (Paz, 1993):

El otro término, la antigua materia, límite extremo del cosmos para Plotino, también se ha ido desvaneciendo. Ya no es ni sustancia ni nada que podamos oír, ver o tocar: es energía que, a su vez, es tiempo que se espacializa, espacio que se resuelve en duración. El alma se ha vuelto corpórea; la materia insubstantial. Doble ruptura que nos ha encerrado dentro de una suerte de paréntesis: nada de lo que vemos parece ser de verdad y es invisible aquello que es verdad. La realidad última no es una presencia sino una ecuación. El cuerpo ha dejado de ser algo sólido, visible y palpable: ya no

es sino un complejo de funciones; y el alma se ha identificado en esas funciones. La misma suerte han corrido los objetos físicos, desde las moléculas hasta los astros.

Tremenda paradoja, que por serlo, se convierte en asunto de fundamental importancia para su aprendizaje (figura 1). Porque lo más fácil para el profesor es y ha sido recitar que la materia es discontinua, y para los alumnos repetir que "desde luego" hay átomos, electrones y quarks. Discurso y repetición una y otra vez hasta el agotamiento; porque eso, eso, prácticamente todos los alumnos de bachillerato lo "saben". Pero en realidad ¿lo saben?

Acerca del constructivismo

La importancia del constructivismo, la corriente pedagógica desarrollada por Piaget en Ginebra en los años 70, es enorme. La riqueza y fecundidad de sus ideas poco a poco han permeado no sólo entre los maestros, sino también entre todos aquellos preocupados por la educación. A costa de ser esquemático y simplista, para Piaget el aprendizaje es tanto un factor como un producto del desarrollo. Es un proceso de adquisición en el intercambio con el medio, mediatizado en principio por estructuras reguladoras, originalmente genéticas y posteriormente construidas con la intervención de pasadas adquisiciones. Insiste en que los niños no piensan menos que los adultos, simplemente lo hacen de manera diferente (Piaget, 1974):

El desarrollo psíquico, que se inicia al nacer y concluye en la edad adulta, es comparable al crecimiento orgánico: al igual que este último, consiste esencialmente en una marcha hacia el equilibrio. Así como el cuerpo evoluciona hasta alcanzar un nivel relativamente estable, caracterizado por el final del crecimiento y la madurez de los órganos, así también la vida mental puede concebirse como la evolución hacia una forma de equilibrio final representada por el del espíritu adulto. El desarrollo es, por lo tanto, en cierto modo, un progresivo equilibrio, un perpetuo pasar de un estado de menor equilibrio a un estado de equilibrio superior.

Piaget propuso que en todos los niños el pensamiento se desarrolla en la misma secuencia de etapas caracterizadas por las edades (aproximadas) de los mismos:

- Etapa sensorio-motora, hasta los dos años de edad.
- Etapa preoperacional, entre los dos y los siete años.
- Etapa de las operaciones concretas, entre los siete y los once años.
- Etapa de las operaciones formales, entre los once y los quince años.

Los logros de cada etapa se basan en los alcanzados en la anterior y pueden ser importantemente alterados por las condiciones

externas en las que se desarrolla el niño. Así, diversos investigadores han informado que los límites de edad pueden variar, reconociéndose muchos casos de alumnos de nivel universitario que no han alcanzado la etapa de las operaciones formales. Lo anterior es particularmente significativo para el caso de la química (Herron, 1975). En este sentido, el conocimiento es el resultado de una permanente construcción a partir de experiencias y procesos previos. O como lo ha dicho uno de los seguidores de Piaget (Gagliardi, 1986):

Enfocado desde otro ángulo, el alumno da un significado a lo que percibe, en función de lo que ya conoce (su sistema de significación). El mismo fenómeno será interpretado en forma totalmente distinta si el sistema de significación es diferente. Cuando se construye un concepto estructurante se cambia el sistema de significación, permitiendo incorporar cosas que antes no se tomaban en cuenta o a las cuales se daba otro significado.

Esquemáticamente (Radford, 1990), un joven que se encuentra en la etapa de operaciones formales tiene la habilidad para extender el razonamiento más allá de lo real hasta lo posible, mientras que uno que no alcanza esta etapa no puede hacerlo, ya que no tiene "los cimientos para ello". En una edad en la que se transita entre una etapa y la otra o que, seguramente se está en la de operaciones concretas, la pregunta obligada es ¿qué puede entender un joven adolescente sobre la teoría atómica?

Un poco de historia

Lucrecio, el poeta romano que escribió hace más de 2000 años *De la naturaleza de las cosas* abordó nuestro problema:

Ante nuestros propios ojos. Pero observa: siempre que los rayos recorren su camino y derraman la luz del sol por las umbrías habitaciones de la casa, verás muchos cuerpos diminutos confundiendo de muchos modos en esos rayos de luz por todo el espacio vacío, y como si estuvieran en perpetuo conflicto, en oleadas de guerra, combatiendo y conteniendo guerrero con guerrero sin pausa, en permanente movimiento, en continuos encuentros y separaciones; así, esto puede ayudarte a imaginar lo que significa que las partículas primordiales de las cosas están en perpetuo movimiento por el magno vacío.

Es una tentación superada comparar la historia de la ciencia o, más bien, la manera en que históricamente se concebía el mundo, con la manera en la que la concibe un niño y posteriormente un adulto imaginar "lo que significa que las partículas primordiales de las cosas están en perpetuo movimiento por el magno vacío" es un concepto moderno al que le ha costado dos milenios imponerse. Sin embargo, me parece importante hacer notar

algunas de las posiciones de químicos notables del siglo pasado respecto a los átomos, tal vez porque su capacidad no está en duda. A Jean Baptiste Dumas (1837) se le achaca la tristemente célebre frase: "Si estuviera en mis manos, borraría la palabra átomo de la ciencia, persuadido de que va más allá de la experiencia", lo cual no le impidió hacer notables aportaciones en la síntesis orgánica. Un compatriota suyo, Saint Claire Derville, dos décadas más tarde insistiría: "No admito ni la ley de Avogadro, ni los átomos, ni las moléculas; me resisto a creer en lo que no puedo ver ni imaginar". Notable comentario y, sin embargo, es lo que nosotros le pedimos a nuestros alumnos que hagan, que crean, que acepten "dogmas de fe". Por ello comparto con el profesor de química y filósofo francés G. Bachelard, (Bachelard, 1978):

Para que tengamos alguna garantía de opinar lo mismo respecto a una idea particular, es necesario, por lo menos, que antes no hayamos sido de la misma opinión. Dos hombres, si verdaderamente quieren entenderse, inicialmente han de contradecirse. La verdad es hija de la discusión, no hija de la simpatía.

Las razones para aceptar o no una teoría pueden ser muchas y variadas, y a la teoría atómica, como fue propuesta a principios del siglo XIX por Dalton (figura 2), le costó prácticamente cien años ser aceptada y lo fue como resultado de innumerables discusiones entre los más destacados científicos del momento. La trágica muerte de Boltzman fue parte de ello: ¿cuánto tiempo le toma "aceptarla" a nuestros alumnos? Más aún, el historiador de la ciencia P. Thuillier nos alerta e instruye sobre el tema (Thuillier, 1991):



Figura 2. John Dalton. ¿Pensará que la verdad, como el título de este texto, es una metáfora?

Prácticamente, muchos químicos se convertían a la nueva teoría cuando veían que traía ventajas. Pero la adopción práctica de la teoría no implicaba necesariamente la creencia de la existencia real de los átomos. Existe en ello una ambigüedad que conviene evidenciar: se puede utilizar una teoría en forma cotidiana sin admitir verdaderamente la realidad de las entidades 'teóricas' a las que remite esa teoría. Esta actitud estuvo muy en boga en el siglo XIX, tanto en Francia como en Inglaterra. Para designar estas formas atenuadas de la teoría atómica, los historiadores Brock y Knight hablan de la 'textbook tradition'. De hecho, muchos manuales presentaban 'el átomo' como una palabra cómoda para expresar diversos resultados experimentales; pero, hablando con propiedad, la existencia de los átomos no estaba reconocida".

Históricamente no deja de ser significativo que Dalton y sus principales seguidores fueran anglosajones (Chamizo, 1991), mientras que parte de la oposición se situaba en Francia. Lo que resultó un hecho es que la teoría atómica se adoptó, e incluyó en los programas de enseñanza secundaria en este último país hacia 1893, cinco años antes de que los electrones hicieran su aparición.

La tradición de los libros de texto y lo que realmente aprenden los alumnos

En un valioso y reciente artículo sobre las representaciones que los alumnos adolescentes se hacen de los procesos químicos, Griffiths (1994) nos indica cuáles son éstas (tabla 1). Lo más significativo de dicho estudio para el presente trabajo es la cantidad y diversidad de las correspondientes a la "naturaleza de la materia". Así, él reconoce, entre otras cosas, que los aprendices de profesores, así como los estudiantes de bachillerato, consideran que los átomos y las moléculas crecen cuando la materia pasa de sólido a líquido y posteriormente a gas. También se concibe que las moléculas cambian de peso cuando la sustancia cambia de fase, o que no hay espacio vacío entre las moléculas de un sólido. Estudiantes de todos los niveles piensan que las

Tabla 1. Tema y cantidad de representaciones investigadas entre alumnos adolescentes.

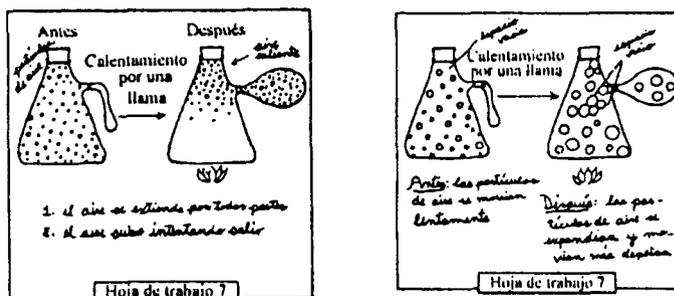
Tema	Número de representaciones
Combustión	11
Disoluciones	13
Enlace	14
Ácidos y bases	15
Cambio químico y físico	18
Equilibrio químico	20
Estequiometría	22
Electroquímica	41
Naturaleza de la materia	67

propiedades físicas de los átomos y las moléculas reflejan las propiedades macroscópicas de los mismos. Así, las moléculas de agua en un cubo de hielo son cúbicas; las moléculas se ponen calientes o frías respectivamente al calentar o enfriar una sustancia; las partículas de una sustancia se funden cuando ésta se funde. Un ejemplo de lo que los niños más pequeños piensan respecto a la constitución de los gases se muestra en la figura 3, donde se reproduce parte de una investigación, ya clásica, realizada por Nussbaum (1989). Los alumnos tienen así sus propias ideas sobre la materia y el profesor debe, a partir de ellas, permitirles que construyan representaciones más adecuadas (científicas) de la realidad. Sin embargo, esto no es fácil, ya que uno de los graves peligros que enfrentan los alumnos y los profesores que se encuentran en este proceso de construcción es el síndrome de la "respuesta correcta" (Driver, 1989). Es más fácil para todos repetir la verdad que entenderla. De Vos (1990) lo resume admirablemente hablando de nuestro tema:

Como conclusión de mi experiencia en la enseñanza de la ciencia entre los niños, prefiero al niño que piensa incómo-

Dibuja el aire y explica lo que hace que se infle el globo.

Figura 3. Representaciones de los alumnos ante diversas preguntas relacionadas con la constitución de la materia.



damente que el átomo de cobre es maleable a aquél que está seguro que el mismo átomo de cobre no es maleable

Y los niños repiten, una y otra vez, porque los profesores también repiten (Jean, 1992):

Pierre Bourdieu, en una obra conocida (*La reproducción*), denunció la actitud pedagógica común, conforme a la cual los maestros no hacen más que reproducir (en realidad repetir) lo que ellos mismos aprendieron, y aquellos de sus alumnos que lleguen a ser maestros repetirán a su vez lo que aprendieron, de tal modo que puede decirse que la pedagogía es repetición indefinida y raras veces creación.

Por ello, la evaluación de estos “conocimientos” consiste también en la capacidad que tienen los alumnos de repetir y no en considerar aspectos más importantes sobre sus propias ideas, como se puede hacer, por ejemplo, a través de mapas conceptuales (Chamizo, 1994). Hace muchos años discutimos cuándo y cómo debe impartirse la estructura atómica a nivel universitario (Cruz, 1983) recogiendo algunas de las ideas aquí presentadas y proponiendo una alternativa a su enseñanza (Cruz, 1986). Posteriormente nos enfocamos a nivel bachillerato y propusimos una manera diferente de abordar el tema (Garritz, 1994) dentro de un contexto más general identificado como una revolución en la educación científica (Chamizo, 1994). En este artículo, al esbozar el problema del aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia entre los jóvenes de la secundaria, es fundamental entender que la incorporación de temas como el del “principio de incertidumbre de Heisenberg” o el de los “orbitales atómicos” presentes en más de un texto autorizado por la Secretaría de Educación Pública, (figura 4) que no en los programas de la misma, (Chamizo, 1993) es un atentado contra la capacidad de nuestros jóvenes y un reflejo de la ignorancia de quienes lo aceptan. También es una de las más rápidas y eficientes maneras de alejarlos de la química. Comparto nuevamente con Bachelard (1978):

Por otra parte, hay un síntoma muy curioso respecto al cual nunca se podrá reflexionar lo bastante: la rapidez con la cual se comprende un concepto animista. No hacen falta más que algunas palabras para enseñar lo que constituye una carga de afectividad. Para nosotros, esto representa una mala señal. En lo tocante al conocimiento teórico de la realidad, es decir, a un conocimiento que sobrepase la simple descripción —también dejando de lado la aritmética y la geometría— todo lo que es fácil de enseñar es inexacto.

A manera de conclusión

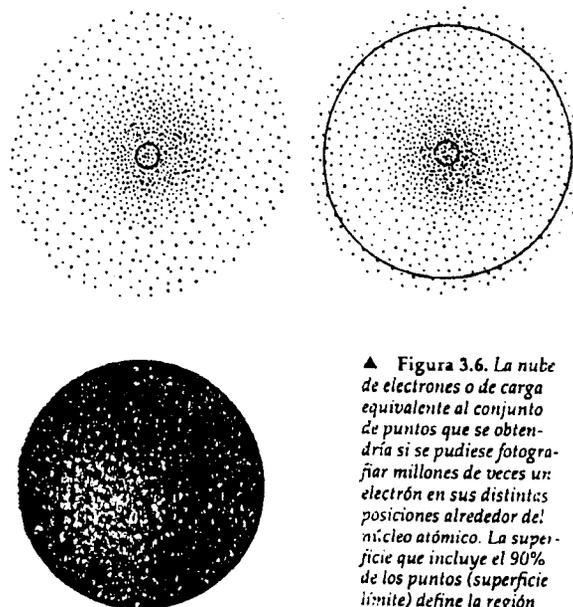
He querido mostrar, de manera más superficial que profunda, la relación que hay entre la teoría atómica, su historia y el aprendi-

3.1.3.6 Modelo atómico mecanocuántico

La teoría o modelo que actualmente describe al átomo, se estableció en 1928. Se trata de un modelo matemático sumamente complejo resultado de la integración de gran número de conocimientos, como se muestra en el diagrama siguiente:

Carácter relativista del electrón. El electrón con carga eléctrica opuesta al fotón (+), es similar a éste en masa y velocidad a la que se desplaza. De manera que la mecanicuántica considera que también el electrón tiene carácter dual¹⁰ y no puede explicarse, ni tratarse de acuerdo con los principios de la física clásica. Dirac, parte de la ecuación de onda de Schrödinger, y establece el carácter relativista del electrón, lo cual hace posible explicar probabilísticamente su comportamiento. Erwin Schrödinger¹¹ estableció una ecuación matemática, denominada ecuación de onda, en la cual integra las propiedades de partícula y onda del fotón, y que explica satisfactoriamente las propiedades de la luz.

Química 1
F. Bonnet Romero
HARLA, México 1994



▲ Figura 3.6. La nube de electrones o de carga equivalente al conjunto de puntos que se obtendría si se pudiese fotografiar millones de veces un electrón en sus distintas posiciones alrededor del núcleo atómico. La superficie que incluye el 90% de los puntos (superficie límite) define la región del espacio que se conoce como orbital.

S. Mosqueira y R.R. Requena
El Hombre y la Química
Patria, México, 1994

Figura 4. Con la lectura de estos textos, (dos de entre muchos) además de los errores que presentan, los niños piensan que cada punto corresponde a un electrón ¿o no?

zaje que de ella hacen los niños y jóvenes. La constitución de la materia es, y ha sido, un enigma para las mejores mentes que a lo largo de la historia han reflexionado sobre ella. Éste, que para los burócratas de la enseñanza es un problema sencillo, queda manifiesto en toda su amplitud en un texto de Paz (1993):

La gran lección filosófica de la ciencia contemporánea consiste, precisamente, en habernos mostrado que las preguntas que la filosofía ha cesado de hacerse desde hace dos siglos —las preguntas sobre el origen y el fin— son las que de verdad cuentan.

Como químicos, y desde nuestra tradición (figura 5): ¡Aprendamos de ellas!



Figura 5. Ouroboros, el dragón que se come su propia cola, simboliza la naturaleza cíclica y eterna del universo.

Agradecimientos

La conferencia que se concreta en el presente texto está dedicada a mis maestros, que por serlo, no lo son únicamente de química: Guillermo Barraza, Antonio Campero, Andoni Garritz y Michael Lappert.

Referencias

Bachelard, G., *La filosofía del no*, Amorrortu, Buenos Aires, 1978.

Cruz, D., Chamizo, J.A. y Garritz, A., “Estructura electrónica de átomos y moléculas: ¿Cuándo y cómo debe impartirse a nivel universitario?”, *Rev. Soc. Quím. Méx.* 27, 115, 1983.

Cruz, D., Chamizo J.A., Garritz A., *Estructura atómica. Un enfoque químico*, Addison Wesley Iberoamericana, Wilmington, EUA, 1986.

Chamizo, J.A., *El maestro de lo infinitamente pequeño. John Dalton*. Pangea-CNCA, México, 1991.

Chamizo, J.A. “Hacia una revolución en la enseñanza de las ciencias”, *Ciencia*, 1994, 45, 67.

Chamizo, J.A. “Mapas conceptuales en la enseñanza y evaluación de la química”, *Educ. Quím.* 1995, 2, 118.

De Vos, W., “Seven thoughts on teaching molecules”, en: *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, University of Utrecht, 1990.

Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A., “Algunas características de las ideas de los niños y sus implicaciones en la enseñanza”, en: Driver R. (ed.), *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*, Morata, Madrid, 1989.

Gagliardi, R. “Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación”, *Enseñanza de las Ciencias*, 1986, 4, 30.

Garritz A., Chamizo J.A., *Química*, Addison Wesley Iberoamericana, Wilmington, EUA, 1994.

Griffiths, A.K., “A critical analysis and synthesis of research on students chemistry misconceptions”, en: H. J. Schmidt (ed.) *Problem Solving and Misconceptions in Chemistry and Physics*, ICASE, Dortmund, 1994.

Herron, D.J., Piaget for chemist, *J. Chem. Ed.*, 1975, 52, 278.

Jean, G., *Bachelard, la infancia y la pedagogía*, Fondo de Cultura Económica, México, 1992.

Nussbaum, J., “La constitución de la materia como conjunto de partículas en estado gaseoso”, en: Driver R. (ed.) *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*, Morata, Madrid, 1989.

Paz, O., *La llama doble*, Seix Barral, Barcelona, 1993.

Piaget, J., *Seis estudios de psicología*, Seix Barral, Barcelona, 1974.

Poe, E.A., “William Wilson”, en: *Narraciones Completas*, Aguilar, Madrid, 1958.

Radford, D., *Science, Models and Toys*, Simon and Schuster, London, 1990.

Thuillier, P., *De Arquímedes a Einstein*, CNCA, México, 1991.