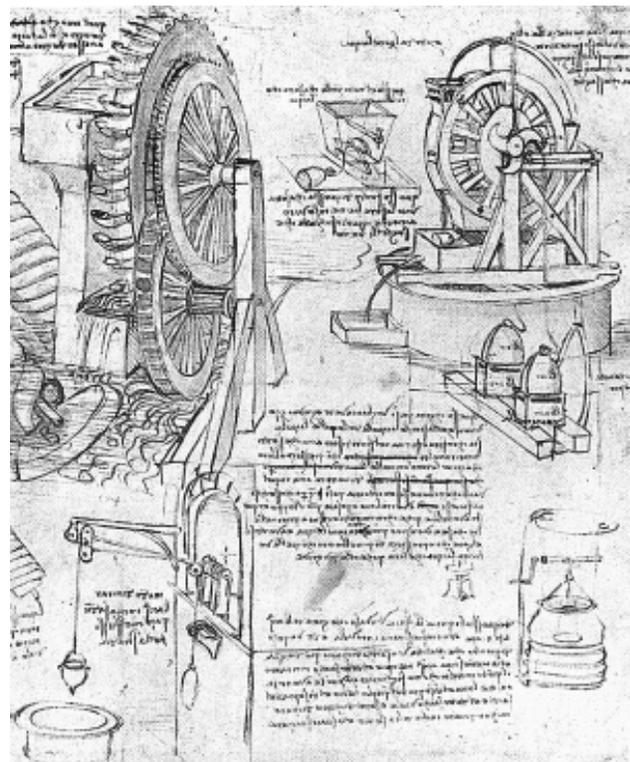


# ELEMENTO, SUSTANCIA SIMPLE Y ÁTOMO: TRES CONCEPTOS PROBLEMÁTICOS EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE CONCEPTOS QUÍMICOS

María Victoria Alzate Cano



Leonardo da Vinci,  
*Tornillos de Arquímedes* (fragmento).

RESUMEN

ELEMENTO, SUSTANCIA SIMPLE Y ÁTOMO: TRES CONCEPTOS PROBLEMÁTICOS EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE CONCEPTOS QUÍMICOS

*El concepto elemento químico como integrante de la trilogía átomo y sustancia simple, tratado en una perspectiva epistemológica desde la filosofía griega antigua sensorial y racionalista, hasta el progreso científico empirista, racional y superracional, permite diferenciarlo como "realidad abstracta" y no como la entidad fenomenológica atribuida a la sustancia simple. También permite indagar las ideas que sobre aquel concepto tienen alumnos de primer nivel universitario.*

RÉSUMÉ

ÉLÉMENT, SUBSTANCE SIMPLE ET ATOME : TROIS CONCEPTS PROBLÉMATIQUES DANS L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE SIGNIFICATIF DES CONCEPTS EN CHIMIE

*Le concept d'élément chimique, faisant partie de la trilogie atome et substance simple, traité dans une perspective épistémologique depuis l'ancienne philosophie grecque sensorielle et rationaliste, jusqu'au progrès scientifique empiriste, rationnel et super rationnel, permet de le différencier en tant que "réalité abstraite" et non pas comme une entité phénoménologique attribuée à la substance simple. Il permet aussi d'étudier les idées des élèves de premier niveau d'université sur ce concept.*

ABSTRACT

ELEMENTS, SIMPLE SUBSTANCES AND ATOMS: THREE PROBLEMATIC CONCEPTS IN MEANINGFUL TEACHING AND LEARNING OF CHEMICAL CONCEPTS.

*The concept chemical element as integrant of the trilogy atom and simple substance, tried from an epistemological perspective from ancient sensorial and rational Greek philosophy, to the empiric, rational and super rational scientific progress, allows to differentiate it as an abstract reality and not as a phenomenological entity attributed to the simple substance. It also allows to enquire about the ideas that students of first university level have in regards to such concept.*

PALABRAS CLAVE

*Enseñanza de la química, epistemología de la química, elemento químico.  
Teaching of chemistry, epistemology of chemistry, chemical element.*

# ELEMENTO, SUSTANCIA SIMPLE Y ÁTOMO: TRES CONCEPTOS PROBLEMÁTICOS EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE CONCEPTOS QUÍMICOS



María Victoria Alzate Cano\*

## INTRODUCCIÓN

Los conceptos *elemento químico*, *átomo* y *sustancia simple* son considerados centrales en la química. Sin embargo, son planteados y utilizados en su enseñanza y en varios de los textos de química básica, de un modo superficial y simplista; se obvian sus significados, las diferencias y afinidades entre ellos, el sistema conceptual en el cual se construyen y cómo se relacionan con el mundo de lo real.

Además, se asume por amplios grupos de estudiantes, de modo implícito e ingenuo, que el elemento está disponible a la percepción inmediata, sin requerimiento teórico para su comprensión; otros grupos lo identifican con “átomo”; otros, en menor número, lo identifican con el símbolo presentado en un formato de la tabla periódica y un número muy reducido lo considera como aquello que constituye a las sustancias. En ellos está ausente una quinta mirada, aquella según la cual el término “elemento” designa una clase particular de núcleos atómicos, todos con igual número atómico ( $Z$ ), lo cual implica las formas isotópicas de los elementos.

Las tres primeras ideas de los alumnos están ligadas, de uno u otro modo, con las ingenuas e intuitivas de los griegos en sus líneas sensorial y racionalista, y el progreso por el positivismo científico de los siglos XVII a XIX, manifiesto en el pensamiento de Boyle y Lavoisier. Esas ideas están alejadas de la diferencia entre elemento y sustancia simple que subyace como esencia al sistema periódico de Mendeléiev, la cual, a su vez, se distingue de la concepción de elemento de Dalton, y de los progresos posteriores dados en el siglo XX, fundamentados en los avances de una fenomenología superracional que crea al número atómico, y en el progreso conceptual del modelo mecano-cuántico y su ruptura con concepciones moleculares anteriores.

Así, este artículo presenta de modo sucinto una concepción del progreso epistémico de las ideas que desde la sociedad griega antigua y épocas posteriores, hasta el presente, han contribuido al contenido actual del concepto *elemento químico*, abstracto y diferenciado, y correlaciona algunas de estas ideas con las que un grupo de estudiantes de primer nivel uni-

\* Profesora de la Universidad de Antioquia, Facultad Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Química.  
E-mail: vicky@matematicas.udea.edu.co

versitario tienen acerca de él. Estas concepciones se han evidenciado durante una intervención de aula de clase, en el desarrollo del proyecto de investigación "Sistema periódico en química: qué enseñar y cómo enseñar para posibilitar un aprendizaje significativo en alumnos de primer nivel universitario", el cual ha contado con el apoyo de Colciencias (Código 1115-11-10362) y la Universidad de Antioquia.

## EL REALISMO DEL CONCEPTO

### ELEMENTO QUÍMICO

El progreso epistémico del concepto *elemento químico* puede percibirse al estudiar el desarrollo de una fenomenología cada vez más abstracta, que ha implicado rupturas con antiguas ideas, ingenuas e intuitivas (caracterizadas por la explicable pobreza histórica de los datos experimentales), y la creación de la racionalidad científica. Éstas son dos líneas de pensamiento, inscritas en epistemologías opuestas: una fundamentada en las percepciones directas e inmediatas de los cuerpos, conocida con el nombre de *realismo ingenuo*; la otra, basada en la racionalidad para desarrollar la idea de sustancia básica, más allá de la percepción de los signos superficiales, ha requerido de gran esfuerzo intelectual y de experimentación científica. Un breve análisis de estas dos líneas permite dar cuenta del progresivo dominio del concepto *elemento químico* y su diferencia y afinidad con los conceptos *sustancia simple* y *átomo*.

### LÍNEA SENSORIAL

Tal vez el primer intento de generalizar las percepciones inmediatas y sensibles, radica en los cuatro elementos de Empédocles (490-430 a.n.e.), agua, tierra, fuego y aire, como "raíces" eternas e inmutables del universo y considerados como el fundamento último de todos los fenómenos naturales. Todas las cosas, según él, se forman debido a las diferentes

combinaciones de estas cuatro "raíces" (en Dymnik, 1968: 86). Un avance de estas primeras ideas intuitivas está en la asunción de un número finito de sustancias que permanecen, cualesquiera sea la proporción de combinación de ellas, dado que, desde otra perspectiva teórica de la fenomenología científica, idea esencial de la química moderna, un número limitado de elementos químicos, prácticamente noventa y dos, son los constituyentes de los un poco más de dieciocho millones de sustancias reportadas por la American Chemical Society (ACS) en el 2003.

La idea de la permanencia de los cuatro elementos de Empédocles, cimentada en los datos sensibles como única fuente de conocimiento, es refutada por el rigor lógico de Anaxágoras de Clezónenes (500-428 a.n.e.). Este filósofo percibe la inconsistencia de que lo perceptible sea permanente y asume pequeñas partículas materiales llamadas por él "semillas de las cosas" (en Dymnik, 1968: 86), distinguibles por su diversidad cualitativa. Los cuerpos derivan de estos primeros elementos, parecidos cualitativamente a los cuerpos que originan, como las partes semejan al todo. Así, los cuerpos se componen de combinaciones de partículas de una cualidad determinada y el cambio de los fenómenos naturales se reduce a la combinación y separación de partículas.

Posteriormente, los cuatro elementos de Empédocles son planteados por Aristóteles (384-322 a.n.e.) como el sustrato material del mundo dotado de propiedades llamadas por él "cualidades primarias": lo seco y lo húmedo, lo caliente y lo frío, que son propiedades referidas a las percepciones inmediatas y directas. Estos cuatro elementos de Aristóteles, a diferencia de Empédocles, no son eternos e inmutables, sino sustancias capaces de transformarse las unas en las otras y de penetrarse de modo recíproco. Así, todo cuerpo compuesto se forma de estos cuatro elementos tomados en diferentes relaciones cuantitativas. Para Aristóteles, como afirma Dymnik

(1968: 113), un cuerpo pequeño, agregado a otro de mayor tamaño, adquiere las propiedades de éste al mezclarse con él. Aristóteles, como adversario que era de la línea racionalista —el atomismo—, negaba la existencia de partículas últimas de naturaleza invisible e indestructible, dado que, según él, la partícula más pequeña de cualquier cuerpo se compone de los mismos cuatro elementos que el cuerpo en su conjunto.

En estas ideas aristotélicas acerca de las partículas, su composición y la conservación de las propiedades de éstas en el todo, progresa la génesis de un concepto bastante implícito en los textos de química,<sup>1</sup> según el cual la molécula tiene las propiedades de la sustancia compuesta, en contravía con el progreso científico del conocimiento químico. En estas ideas filosófico-naturales se instaura la concepción epistemológica en la que la percepción inmediata de los cuerpos y sus modificaciones se corresponde con el proceso cognitivo individual del conocimiento de las sustancias, conocida como *realismo ingenuo*.

### LÍNEA RACIONALISTA

Paralela a la línea sensorial, progresó la idea de la materia como constituida por pequeñas partículas. Anaxágoras (500-428), Leucipo (500-440) y Demócrito (460-370 a.n.e.) fueron los primeros en sugerir esta noción de que unas partículas materiales invisibles, llamadas “átomos”, eran los constituyentes de la materia. Los cuerpos se componen de combinaciones de pequeñas partículas que interactúan entre sí y el cambio de los fenómenos naturales obedece a la combinación y disgregación de dichas partículas.

Los átomos son los cuerpos más pequeños posibles y carecen de cualidades; en cambio, el vacío es cierto lugar en el que todos estos cuerpos, durante toda la eternidad,

se mueven arriba y abajo, o se entrelazan de algún modo entre sí, o chocan y se repelen los unos a los otros, diferenciándose y asemejándose de nuevo en esas combinaciones para formar, de este modo, todos los [...] compuestos sólidos y nuestros propios cuerpos, así como sus diversos estados y sensaciones (Demócrito, citado por Dynnik, 1968).

Demócrito consideraba cada átomo aislado como indivisible, con forma, densidad y extensión, con movimiento en el espacio y en el tiempo; Epicuro (341-270 a.n.e.) lo pensaba, además, con masa y volumen. Para estos autores, el calor, el frío, el olor, el sabor, el sonido, son cualidades que los hombres perciben, provocadas por las combinaciones de los átomos, con determinadas cualidades y no características de los átomos mismos. Es la combinación de muchos átomos lo que genera las cualidades sensoriales. Esta idea contradice la consideración de la corriente sensorial, según la cual la partícula tiene las propiedades del todo, y es coherente en principio con el actual conocimiento químico, para quien las propiedades del todo (llámese *sustancia simple o compuesta*) son diferentes a las propiedades de la(s) molécula(s). Ésta es una entidad diferente al todo; o en términos del elemento, éste no posee las propiedades de la sustancia simple o compuesta a la cual constituye.

Demócrito y los partidarios del atomismo plantean una disputa entre la “razón” y los “sentidos”: es la razón quien sustenta el criterio de los átomos, y por tanto, es superior a los sentidos; la razón es superior al conocimiento “oscuro” de las sensaciones. Éstas no permiten conocer los átomos ni el vacío; para ello, se requiere de una forma más sutil del conocimiento, el pensamiento teórico:

Dos son las formas de conocimiento: una, el verdadero; otra, el oscuro. Al oscuro pertenecen todas estas formas de conocimien-

<sup>1</sup> Véanse, por ejemplo, Chang (1999: 1.010), y Brown, Lemay y Bursten (1993: 1.159).

to: la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto. Por cuanto al [conocimiento] verdadero, éste se halla totalmente separado del otro. Cuando la forma oscura de conocimiento no puede ya ver ni escuchar, ni gustar, ni tocar lo demasiado pequeño y [debe buscar] lo más sutil [lo que es inasequible a la percepción sensible], "sobreviene entonces la verdadera [forma de conocimiento], que posee un órgano cognoscitivo más sutil: el pensamiento" (Demócrito, citado en Dynnik, 1968: 91).

En la línea atomista persiste la noción de una sustancia básica primaria constituyente de los cuerpos, con cualidades diferentes a las de éstos. Esta sustancia primaria es capaz de combinarse mediante diferentes organizaciones, para dar origen a las sustancias simples y compuestas, las cuales, a su vez, pueden descomponerse en otras. La idea intuitiva de algo trascendental, más allá de la relación directa con los cuerpos para explicar los cambios químicos, a diferencia de los cuatro elementos perceptibles de Empédocles y Aristóteles, y de las partículas "semillas de las cosas" con las propiedades del todo, constituye el origen de la noción de una sustancia básica primaria, más allá de los cuerpos percibidos y con cualidades diferentes a las de los cuerpos que constituyen, la cual requiere de un esfuerzo de la razón para su consideración. Como expresa Paneth (1962: 14), algunos de los pensadores griegos habían comprendido, en primer lugar, que la dirección de las ciencias naturales se centra en encontrar las leyes del mundo en constante cambio. En segundo lugar, que las diversas modificaciones son indicadas a nuestras conciencias de modos bastante diferentes; y por otra parte, que los cambios en las propiedades de las sustancias requieren de hipótesis trascendentales.

Los griegos Epicuro de Samos (341-270 a.n.e) y Herón (s. I, a.n.e.), y el romano Tito Lucrecio Caro (98-55 a.n.e), partidarios y defensores de las ideas de Demócrito, prolongaron el significado implicado en el término "átomo" durante el período de la Edad Media, a través de las obras *De rerum natura* (De la naturaleza de las cosas) de Lucrecio y *Pneumatica* (Acer-

ca del aire) de Herón. Tito Lucrecio Caro empleaba los términos "principios de las cosas", "primeros cuerpos", "cuerpos generadores", "semillas", "elementos", "corpúsculos", para explicar los fenómenos de la naturaleza. Herón, por su parte, explicaba los resultados de experimentos con el aire en términos de que éste estaba compuesto de átomos. También, en los siglos I a XV de n.e., algunos pensadores del movimiento *mutakallimun* y de la escuela de Basra, desde diversas fuentes introdujeron las ideas atomistas de los griegos en el mundo árabe. Según Cid (1977: 253), autores de la escuela de Basra consideraron el átomo como la sustancia original indivisible y plantearon el problema del número mínimo de átomos necesarios para formar un cuerpo, el cual emerge de la propiedad de combinar los átomos en un número definido.

La idea *sustancia básica o primaria o elemento químico*, es un concepto de la química moderna apoyado en algunas de las razones epistemológicas del atomismo cualitativo de los griegos, la cual se ha enraizado y diferenciado a la luz del pensamiento de Boyle, Lavoisier, Mendeléiev, y de los progresos científicos relacionados con el conocimiento del núcleo atómico y sus respectivos isótopos, del modelo mecano-cuántico, al considerar la molécula como objeto cuántico.

## LA METODOLOGÍA POSITIVISTA

### ROBERT BOYLE

En el espíritu de la ciencia positivista de los siglos XVII y XVIII, Robert Boyle (1627-1691) fue el primero en volver a la antigua e importante pregunta del filósofo griego Tales de Mileto (640 a.n.e): ¿de qué está hecho el universo? En su obra *El químico escéptico*, Boyle plantea una idea totalmente nueva en la búsqueda de los elementos.

Como lo indica el término *escéptico*, Boyle se destacó por poner en duda y confrontar las antiguas ideas aristotélicas de los cuatro ele-

mentos, rompió con ellos y llevó al declive la magia y los elixires de los alquimistas; también puso en marcha una nueva iniciativa teórica y metodológica respecto a la definición de elemento químico y, además, definió los elementos químicos como las sustancias básicas de las que están constituidas todas las sustancias compuestas. Esto significaba que un elemento no podría ser descompuesto en otras sustancias más simples y el método de investigación para identificarlos era a través de la experimentación de los mismos.

Entiendo por elementos [...] unos cuerpos primordiales y sencillos que, al no estar compuestos por otros cuerpos o por otro cuerpo, son los ingredientes de los cuales están inmediatamente compuestos todos los cuerpos llamados mixtos perfectos (es decir compuestos) (Boyle, citado por Chamizo, 2002: 18).

La forma de averiguar si un cuerpo sencillo era un elemento, radicaba en tratar de descomponerlo o combinarlo con otras sustancias. Se refiere a un elemento como "La muestra que no puede ser descompuesta o separada en otros cuerpos diferentes" (Moore, 1953: 453). Esta definición introduce un criterio experimental de fenomenología racional, constituido en el núcleo conceptual de los progresos futuros del conocimiento químico acerca de las sustancias. Los trabajos de Boyle y de otros químicos con sustancias en fase gaseosa, a mediados del siglo XVII, condujeron a que los elementos aristotélicos no eran elementos y a la identificación, como tales, de varios cuerpos simples, dada la nueva concepción. Se ampliaba, mediante diversos métodos experimentales, el número de los cuerpos simples conocidos con respecto a las épocas precedentes. La corta lista de sustancias simples empezó a crecer y el análisis químico se convirtió en la preocupación central de los químicos para hallar nuevas sustancias.

El progreso científico con la metodología de análisis químico de Boyle se centra en que 1) los cuerpos simples no son inmediatos ni

naturales; 2) es necesario lograrlos mediante determinadas metodologías diseñadas por los químicos, y 3) los cuerpos simples no están en la naturaleza, salvo ciertas circunstancias. Los cuerpos simples son el resultado de grandes esfuerzos investigativos de descomposición y separación integrados en una racionalidad científica. Las sustancias simples no son objetos dados de modo natural a la percepción para ser abordados en blanco: son hechos científicos y, como tales, deben prepararse con base al conocimiento químico acerca de las sustancias y de las numerosas metodologías para lograrlas en contexto. De esta manera, el estatus de lo natural inmediato pasa a un segundo plano.

La vieja idea griega, de naturaleza intuitiva, según la cual los elementos, entendidos como sustancias básicas no descomponibles, constituyen a los cuerpos, es lo que un pensador como Boyle fue capaz de captar, y percibir la diferencia entre las cualidades esenciales u ocultas a los sentidos y las perceptibles o primarias de las sustancias. Conocer las propiedades esenciales exigió una nueva experiencia racional para demostrar la arbitrariedad de la noción de los cuatro elementos aristotélicos.

El estatus epistemológico de la anotada y exitosa definición de elemento químico como sinónimo de cuerpo simple, o más general, sustancia simple, conlleva dos aspectos negativos: en primer lugar, el carácter absoluto dado a la definición, lo que, a su vez, implica el segundo aspecto: el abandono de la idea griega racionalista según la cual el término "elemento" designa pequeñas partículas materiales con características diferentes al todo. Para el caso, los elementos constituyentes de las sustancias deben tener propiedades diferentes a las sustancias que constituyen. Dado el absolutismo de la definición, se reincide en la persistencia de mantener la idea ingenua de que las propiedades de la sustancia simple permanecen en las sustancias compuestas, y no se considera la posibilidad de unas sustancias de naturaleza más básica, con propiedades diferentes a las de las simples y compuestas.

## LAURENT A. LAVOISIER

Las ideas anteriores son expuestas de modo claro en la obra de Lavoisier (1734-1794), cuando afirma, en el "Discurso preliminar" de su *Tratado elemental de química*:

Todo lo que puede decirse sobre el número y naturaleza de los elementos se reduce, en mi opinión, a puras discusiones metafísicas [...]. Me contentaré pues, con decir, que si por el nombre de elementos queremos designar a las moléculas simples e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que las ignoremos; pero si, por el contrario, unimos al nombre de elementos o principios de los cuerpos la idea del último término al que se llega por vía analítica, entonces todas las sustancias que hasta ahora no hemos podido descomponer por cualquier medio serán para nosotros otros tantos elementos; con esto no queremos asegurar que los cuerpos que consideramos como simples no se hallen compuestos por dos o mayor número de principios, sino que como nunca se ha logrado separarlos [...] faltándonos los medios para hacerlo, debemos considerarlos cuerpos simples y no compuestos hasta que la experiencia y la observación no demuestren lo contrario (Lavoisier, 1982: 11).

Lavoisier pone punto final a las discusiones metafísicas y establece el principio según el cual el número de elementos químicos no debe ser establecido a priori, sino que debe determinarse, a posteriori, cuántas sustancias se encuentran en la naturaleza que no pueden ser descompuestas en otras más simples. Sólo aquello fundamentado en la experiencia y la observación tiene, para Lavoisier, la virtud de ser reconocido como sustancia simple o elemento químico. El elemento concebido como el resultado de una experiencia, lo lleva a reconocer la formación de los cuerpos compuestos por la unión de varias sustancias simples. Al considerar a éstas como sustancias no descomponibles, en el contexto de alta pureza, las propiedades de las sustancias simples

deben permanecer en las sustancias compuestas que forman. En el furor de la crítica al prejuicio de las cuatro sustancias elementales como constituyentes de los cuerpos y fundamentada sólo en el criterio de la preparación de lo simple, se persiste en la idea aristotélica de la retención de las propiedades perceptibles de lo simple en el todo. Este reconocimiento es explícito en la caracterización de *elemento químico* dada por Diderot y D'Alembert en su conocida obra *Encyclopédie*, "cuerpos simples indestructibles persistentes en sus compuestos" (Citados por Paneth, 1962: 146).

A pesar de los absolutismos, Lavoisier permite la inferencia con base al criterio de la descomposición química, como el término al cual llega el análisis químico en un momento dado. Acepta a la química como una ciencia que camina hacia su objeto y su perfección "subdividiendo y volviendo a dividir" (Lavoisier, 1982: 63). Como se percibe en su tabla de las sustancias simples (168), incluye, entre las treinta y tres clasificadas como tales, a la cal, la magnesia, la barita, la alúmina y la sílice, nombradas por él "sustancias simples salificables terrosas". Para éstas, presume que pronto dejarán de contarse entre las sustancias simples, dada su tendencia a no combinarse con el oxígeno, quizá sean óxidos metálicos; pero advierte al lector no confundir lo que da por verdades de hecho y de experiencia, con lo que aún es hipotético (171). Igualmente, deja por fuera de la clasificación a los álcalis como la potasa y la sosa, ante las evidencias de ser sustancias compuestas, aunque se ignore la naturaleza de los principios que entran en la combinación. Esta situación fue evidenciada con posterioridad (entre 1800 y 1810), y el sodio ( $\text{Na}_n$ ) y el potasio ( $\text{K}_n$ ) metálicos entraron a engrosar la lista de las sustancias simples. La descomposición química es el núcleo de la investigación química y "La simplicidad aparece como un límite a cualquier esfuerzo de descomposición. La simplicidad tiene aquí la categoría de resultado; [...]" (Bachelard, 1973: 114). La distinción entre los cuerpos simples y compuestos por medio del análisis químico

mico es la esencia de Lavoisier que explica las propiedades de los compuestos a partir de las cualidades de los cuerpos simples.

Hacia el futuro, lo simple como limitación a la descomposición no implica el carácter absoluto de la limitación; por el contrario, permite el progreso de esta noción y establecer, en 1913, con la creación del *número atómico*, la identificación del elemento químico, al instituir con un alto grado de racionalidad la mirada de Mendeléiev acerca de la coherencia entre sustancia simple y elemento químico como la sustancia elemental o básica constituyente de las sustancias simples y compuestas.

### DIMITRI I. MENDELÉIEV

Mendeléiev apuesta por la racionalidad de modo esencial. Considera el elemento diferente de la sustancia simple, crea su sistemática de los elementos químicos en una estructura bidimensional y periódica de las variables masa atómica y valencia química, vislumbra el patrón de periodicidad, y establece que una ley general en esta dirección debe ser estatuida y verificada por todas las creaciones experimentales. Mendeléiev es de la idea de subordinar, a una ley general, la multiplicidad de los cuerpos simples y su número. Participante activo del debate de la época con respecto a la hipótesis atómica de Prout<sup>2</sup> y la de Dalton, y en torno a la cuestión de si aceptar la realidad de los átomos y las moléculas o de distinguirlas correctamente, toma partido por esta última idea.

Con la aplicación de la ley de Avogadro-Gerhardt, la concepción de la molécula queda perfectamente definida y, por ende, su peso atómico. Llamamos partícula, o partícula química, o molécula, a la canti-

dad de sustancia que interviene en una reacción química con otras moléculas y que, en estado de vapor, ocupa el mismo volumen de dos partes en peso de hidrógeno. [...]. Los átomos son las cantidades más pequeñas, o las masas químicas indivisibles de los elementos, que forman las moléculas de los cuerpos simples y compuestos (Mendeléiev, citado en Serres, 1989, 511).

Mendeléiev rompe las estrictas normas del método experimental y se apoya en aquellas hipótesis racionales que le facilitan la predicción de los cuerpos simples no conocidos y anticipar nuevas casillas en su sistema. Una diversidad de unidades elementales inscritas en una ley general de periodicidad química, es la esencia de su sistema, así como asumir la diferencia entre átomo y molécula, entre elemento y cuerpo simple. Considera que la ley periódica posee los hechos, y su interés es profundizar en el principio filosófico que preside la naturaleza misteriosa de los elementos.

La idea de cuerpo simple de Lavoisier y su diferencia con el cuerpo compuesto como idea central y su objetivo por medio del análisis, no es la esencia de Mendeléiev. Éste adopta la diferencia entre elemento y cuerpo simple, y asume al elemento como constituyente de los cuerpos simples y compuestos; lo conceptualiza de modo intuitivo como una realidad abstracta cuyas propiedades son diferentes a las propiedades del todo. El elemento es el principio explicativo de las sustancias simples y compuestas, de la diversidad de la combinación química; el elemento químico se transfiere y conserva en las reacciones químicas. Dos cualidades abstractas y cuantificadas del elemento y relacionadas en un entramado de modo cruzado, *masa atómica* y *valencia química*, constituyen un producto racional de la inferencia y la predicción, lo cual es la cuestión clave

2 A comienzos del siglo XIX, William Prout plantea la idea según la cual la diversidad de los cuerpos simples debe derivar del hidrógeno. En 1831 presenta una versión modificada en términos de las masas atómicas como múltiplos enteros de una fracción del hidrógeno. De este modo centra su interés en las relaciones aritméticas, una racionalidad pitagórica necesaria en la química, pero no suficiente al no considerar la relevancia de las propiedades químicas en su programa de investigación.

para clasificar los elementos y explicar los comportamientos de las sustancias simples y compuestas.

Profundizar en las relaciones entre la composición, las reacciones y las cualidades de los cuerpos simples y compuestos, por una parte y las cualidades intrínsecas de los elementos que contienen, por otra parte, con vistas a deducir del carácter ya conocido de un elemento todas las propiedades de todas sus combinaciones (Mendeléiev, citado en Serres, 1989: 516).

Esta precisión de lenguaje y de significado en Mendeléiev profundiza y aclara las nociones de *átomo*, *molécula*, *elemento* y *cuerpo simple*. En cierto modo, la palabra "elemento" evoca la idea de átomo planteada en la hipótesis atómica de Dalton, pero de un modo diferenciado, ya que la esencia no posee las propiedades del todo, sino que las determina.

## EL ELEMENTO QUÍMICO Y LOS ÁTOMOS

Durante los siglos XVII y XVIII, el "atomismo" adquirió cada vez más interés y adeptos. Ella se constituyó en una primera teoría atómica con John Dalton (1766-1844), en la primera década del siglo XIX, para dar sentido a la ley de las proporciones definidas y múltiples. Este modelo contribuye no sólo a generar una metodología vital para los químicos, la de la determinación de las masas atómicas, que tuvo en Jans Jacob Berzelius (1779-1848) su principal promotor, sino también, de modo muy importante, a mantener viva la hipótesis de la relación numérica entre elementos, que ilumina el desarrollo de la química cuantitativa y rompe con las imposiciones de la epistemología positivista al planteamiento de hipótesis, como una vía metafísica para profundizar en la explicaciones de los comportamientos de los cuerpos.

Mi atención se ha dirigido al estudio del calor [...] y los elementos fundamentales de los cuerpos, así como a la manera en que se combinan. [...] Así he logrado reducir un número grande de hechos aparentemente independientes y anómalos a leyes generales, y demostrar cómo con nuevos principios se producirá el cambio más importante en la química [...] (Dalton, citado por Chamizo, 2002: 39).

Dalton, en su finalidad de dar explicación a la combinación química, concibe al *átomo* como una unidad hipotética de combinación química para interpretar las relaciones cuantitativas y lo asimila al elemento químico como constituyente fundamental de los cuerpos. Para él, las uniones químicas no son insensibles a las relaciones de proporcionalidad; éstas se dan de modo definido y múltiple entre los principios constituyentes. A partir de esta idea, construye un sistema de masas atómicas basado en el hidrógeno como una unidad referente de modo convencional. Dalton iguala los conceptos *átomo* y *elemento*. Su objetivo central es mostrar la importancia y la ventaja de asegurar los pesos relativos de las partículas últimas, tanto de los cuerpos simples como de los compuestos. Además, concibe a los átomos de una clase, ya sean simples o compuestos, como idénticos, con las mismas propiedades, las cuales se conservan en la unión química.

[...] el preguntarse si las partículas últimas de un cuerpo, tal como el agua, son todas semejantes, esto es, de la misma forma, pesos, etcétera, reviste alguna importancia. De lo conocido no tenemos ninguna razón para suponer alguna diversidad en estos aspectos: si ella existe en el agua, debe igualmente existir en los elementos que constituyen al agua, a saber, hidrógeno y oxígeno [...] (Dalton, citado por Chamizo, 2002: 71).

Dalton, antecesor de Mendeléiev, no diferencia a fondo átomo y átomo compuesto (molécula). El átomo compuesto es agregado mecáni-

co de átomos simples; persiste en la idea aristotélica de que los átomos tienen las propiedades del todo y concibe a cada elemento como siendo una clase particular de átomos idénticos. Distinta es la concepción de Mendeléiev, como fue anotado anteriormente. Tal vez Mendeléiev no percibía, en las ideas de Dalton, la esencia para diferenciar elemento y cuerpo simple, y opta por apoyarse en las ideas de Amadeo Avogadro (1776-1856). Átomo y elemento aparecen como sinónimos, y este significado, instaurado hace casi doscientos años, es presentado a los alumnos, lejos de consideraciones pertinentes alusivas a la diferencia con la concepción de Mendeléiev, del progreso del concepto *elemento químico* como sustancia básica y de los cambios radicales emanados de la evolución conceptual de los modelos atómicos, en particular, en primer lugar, de los modelos electromagnéticos que instauraron la divisibilidad y las interacciones eléctricas entre núcleo y electrones, y en segundo lugar, la superación de estos modelos por el de la mecánica cuántica, a partir del cual se ha dado el creciente e importante desarrollo científico tecnológico del siglo XX y comienzos del siglo XXI.

## EL PROGRESO DE LA RACIONALIDAD CIENTÍFICA

A lo largo del debate del siglo XIX persiste, desde el punto de vista operatorio, la noción de *elemento químico* de Boyle como núcleo conceptual de los desarrollos experimentales futuros en la búsqueda de lo desconocido, de lo no posible de localizar en la naturaleza, sino mediante refinados esfuerzos de pensamiento científico integrados a la experimentación científica. Igualmente, se abre paso la idea de *elemento* diferente a la *sustancia simple* y con propiedades diferentes a ésta. Son las dos caras de una moneda, en una dialéctica incesante del desarrollo del significado de *elemento químico*, que pasa por superar, de modo argumentado, los cuatro elementos aristotélicos,

la identidad de cuerpo simple y elemento de Lavoisier, y las ideas racionalistas intuitivas que indicaban la noción de elemento químico como la esencia diferente al todo y no localizable en lo inmediato.

La predicción, característica esencial que Mendeléiev imprime a su clasificación, orienta la búsqueda de nuevas sustancias simples y la determinación de sus respectivas cualidades. Los métodos analíticos se transforman de hechos científicos de experiencia observable, para definir a las sustancias simples, a hechos científicos, para verificar las sustancias ya sugeridas y encontrar otras nuevas, para completar las casillas en el sistema periódico. Según Bachelard, "un poderoso a priori guía la experiencia. Lo real es sólo realización" (1971: 93). Este camino de la profundización de la racionalidad, denominado por Bachelard (1993) perfil epistemológico superracional de la noción de sustancia en química, prácticamente ausente en la enseñanza y el aprendizaje de la química inscrito en un alto dominio del realismo ingenuo y la confusión conceptual, es la vía que irrumpe con gran fortaleza y da lugar a profundizar el racionalismo, y resolver, cuarenta años después, la diferencia entre elemento químico y sustancia simple, ya planteada de modo intuitivo por los atomistas griegos de la línea de pensamiento de Demócrito y profundizada por Mendeléiev, lo cual, a su vez, lleva la diferencia entre elemento y átomo.

Una fenomenología, cada vez más abstracta, ligada al análisis nuclear y espectroscópico con radiación de rayos-x, crea al número atómico  $Z$ , número de protones en el núcleo atómico, como la cualidad que, cruzada con la valencia química, organiza la tabla periódica. Esta cualidad, representada por el físico británico Henry Moseley (1887-1915) como una relación lineal con la línea espectral  $k$  de rayos-x, según la siguiente relación:

$$v_k = (1/\lambda)_k = 3/4R(Z-\sigma)^2 \quad \text{ó} \quad \sqrt{v_k}/R \propto Z - \sigma = 1,$$

plantea la nueva idea acerca del elemento químico como la sustancia básica con cualidades diferentes a la sustancia simple; el elemento químico constituye y persiste en las sustancias simples y compuestas, cualesquiera sea la relación de combinación química. El oxígeno, de número atómico 8, es común a diversas formas como sustancia simple o en forma combinada con otro elemento, por ejemplo:  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $SO_3$ ,  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $Na_2O$ .

El análisis isotópico y la nucleosíntesis artificial han conducido a la identificación de los diversos isótopos de los elementos (núcleos con igual número de protones y diferente número de neutrones), no posibles de conocer en épocas anteriores, y a la creación de nuevos elementos químicos (aquellos con número atómico superior a 92) y de isótopos de los ya conocidos núcleos atómicos. Jensen (1998: 821) destaca el debate planteado en 1930 por los radioquímicos Fritz Paneth, Frederick Soddy (1887-1956) y Kasimir Fajans (1887-1975), en torno a la necesidad de redefinir el concepto *elemento químico* a la luz del nuevo conocimiento sobre la estructura eléctrica de las sustancias. Igualmente anota que F. Soddy sugirió el término de "isótopos" para describir las variedades individuales de cada casilla de la tabla periódica y definió el término "elemento" como una clase de núcleos, todos los cuales tienen el mismo número atómico. Paneth (1962: 155) prefiere hablar de *sustancia básica* y de *sustancia simple* como dos aspectos diferentes del concepto *elemento químico*. La sustancia simple, nombrada *cuerpo químico* en un contexto definido en el cual es perceptible, se manifiesta en una fase definida y manipulada en las modificaciones químicas y físicas; difiere de la sustancia básica en cuanto que ésta no posee cualidades primarias perceptibles, y es la sustancia que persiste a través de todas las modificaciones químicas de las sustancias simples y compuestas. Paneth considera una dualidad epistemológica del estatus del concepto *elemento químico*, cuando éste es tomado en el sentido realístico-ingenuo para dar significado a la "sustancia sim-

ple", y cuando es tomado como significado trascendental de "sustancia básica" para aquello que no es perceptible, a los sentidos, requiere de la fenomenología de alta racionalidad y permanece invariante en todas las modificaciones químicas, salvo aquellas relacionadas con las modificaciones químicas nucleares. Por otra parte, Roundy (1989) resalta el descubrimiento de los isótopos de los elementos en 1912, como pertenecientes a una clase de elemento definido por el número atómico. Muestra, además, cómo diferentes definiciones presentadas en varios textos de química no son coherentes con el progreso científico y atribuyen el significado de elemento a cuestiones del pasado.

La época contemporánea permite establecer, en primer lugar, una coherencia entre las sustancias simples y los elementos químicos, para asignar a éstos el estatus de sustancia elemental o básica que permanece en todas las sustancias simples y compuestas. Por otra parte, da lugar a diferenciar y relacionar las diversas clases de propiedades de las distintas clases de sustancias. El progreso científico evidencia al número atómico no sólo como una variable ordinal que permite ordenar los elementos, sino también como una variable cardinal que permite contar el número de protones y el número de electrones, y ha dado base a las consideraciones estructurales electrónicas de las moléculas mono y polinucleares y a una de las formas de la organización del sistema periódico, en términos de las características de las estructuras electrónicas de los átomos o moléculas mononucleares.

## IDEAS DE UN GRUPO DE ALUMNOS

Un estudio de indagación relacionado con el conocimiento antecedente acerca del concepto *elemento químico*, en un grupo de veinticinco alumnos de primer nivel universitario, reporta los datos presentados en la tabla 1.

**Tabla 1.** Conocimiento antecedente del concepto *elemento químico*

Tipo de comprensión	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>
Número de estudiantes	0	25	1	14	9	1	0

- A<sub>1</sub> No he estudiado el concepto  
 A<sub>2</sub> He estudiado el concepto  
 B<sub>1</sub> No lo comprendo  
 B<sub>2</sub> Quizás lo conozco un poco  
 B<sub>3</sub> Comprensión parcial  
 B<sub>4</sub> Comprensión buena  
 B<sub>5</sub> Lo puede explicar a un amigo

Dadas las respuestas A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> y B<sub>3</sub>, los estudiantes son solicitados a expresar por escrito su definición de elemento químico y una descripción de los elementos. La definición es manifiesta por 19 alumnos; 4 no la expresan y

1 afirma "yo se más o menos que es, pero se me hace muy difícil dar una definición". Las definiciones de elemento categorizadas son relacionadas en la tabla 2 según el número de alumnos.

**Tabla 2.** Categorías de elemento según número de alumnos

Categorías	N.º de alumnos
1. Cada uno de los componentes de la tabla periódica.	6
2. Es una sustancia pura.	6
3. Lo que conforma los compuestos.	4
4. Sustancia pura compuesta por una sola clase de átomos.	3

La categoría 1 pone de manifiesto la identificación del símbolo con lo simbolizado; corresponde a la identificación del elemento químico con el símbolo presentado en un formato de la tabla periódica. La categoría 2 identifica al elemento con la sustancia pura, aquello que está disponible a la percepción inmediata. La categoría 3 es una respuesta adecuada; implica de modo intuitivo aquello que constituye a las sustancias, y la 4 expresa la no diferenciación de la naturaleza de la sustancia y la naturaleza de los átomos; identifica elemento con átomo. La sinonimia con un símbolo, con la sustancia simple, con los átomos de Dalton y como algo intrínseco a las sustancias, constituye cuatro percepciones diversas implicadas en epistemologías diferentes. Está ausente una quinta mirada, aquella según la cual el

término "elemento" designa una clase particular de núcleos atómicos, todos ellos con igual número atómico (Z), lo cual implica las formas isotópicas de los elementos.

Esta primera indagación, no suficiente, pone de manifiesto que la información acumulada por los alumnos en sus procesos mentales, es esquemática y rudimentaria, y permite la percepción de algunas situaciones didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de la química, en particular el aprendizaje de conceptos científicos adquiridos por los alumnos, principalmente durante el proceso de instrucción. Durante el proceso de aprendizaje de la química, según consulta al grupo de alumnos, éstos han interactuado con el conocimiento químico en los grados décimo y onceavo de bachillerato,

de modo prioritario con los temas “tabla periódica”, “óxido-reducción”, “balanceo de ecuaciones” y “enlace químico”.

De acuerdo con estas primeras ideas, parece ser que los alumnos, en su experiencia de aprendizaje, han interactuado con conceptos de un alto nivel de abstracción, sin conectarlos a referentes concretos o abstractos, esto es, con las sustancias y sus comportamientos químicos y físicos, o con los referentes de los modelos conceptuales molecular y eléctrico de las sustancias, moléculas y estructura molecular como interacciones entre núcleos y electrones. Tres niveles conceptuales de la química: *molar, molecular y eléctrico*, uno u otro, o dos de ellos, están implícitos en las palabras-concepto enunciadas por los alumnos, pero éstos no son conscientes de ellos y de sus relaciones, dado que no han interactuado

con experiencias de aprendizaje, como parece ser, relacionadas con el conocimiento de las clases de sustancias, su diferenciación en contexto y con la estructura molecular. La no diferenciación de referentes concretos y abstractos se manifiesta en el siguiente texto descriptivo sobre los elementos, elaborado por un alumno:

Todo lo que nos rodea está compuesto por elementos, estos elementos están en la naturaleza, cada elemento tiene características como número atómico, masa, volumen, densidad, e [electrón], p [protón], N [neutrón], punto de ebullición, punto de fusión, niveles de energía, grupo, etc., los elementos están en dos grandes grupos los metálicos y los no metálicos.<sup>3</sup>

Este enunciado descriptivo, en forma de esquema, se presenta en la figura 1.

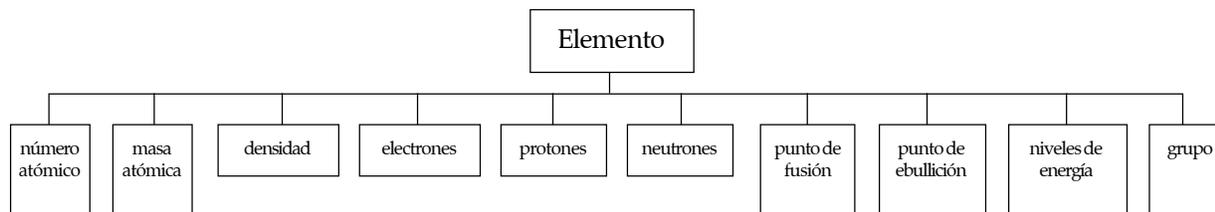


Figura 1. Ideas de un alumno acerca del concepto *elemento*

En nuestra interpretación, los conceptos enunciados para categorizar diferentes características, son presentados en un solo nivel y referidos sólo al elemento; no hay delimitación entre ellos, ni relaciones de subordinación o jerarquización. Este alumno no moviliza su conocimiento de modo vertical de un concepto a otro, lo cual es manifestación de la no estructuración de relaciones de generalidad entre ellos. De modo implícito, el concepto *elemento* se identifica con el de *sustancia simple* y con el de *molécula mononuclear* (átomo), y no es claro que propiedades como el punto

de fusión, el punto de ebullición y la densidad sean atributos de la sustancia simple, mientras *niveles de energía* es una cualidad estructural del átomo mecano-cuántico; o que el grupo es una característica del sistema de clasificación de los elementos y como tal debe concebirse conectado con un período; o que electrones, protones y neutrones son partículas no individuales, las cuales interactúan por medio de interacciones electromagnéticas y nucleares para conformar respectivamente estructuras del micromundo, en primer lugar, átomos, y en segundo lugar, núcleos ató-

<sup>3</sup> El texto es original, tal como lo escribe el alumno.

nicos. Una situación similar se manifiesta en la descripción que hace sobre el concepto *elemento* un segundo alumno:

Lo que se Que los elementos pueden tener diferentes isótopos y alotopos Los isótopos son los que tienen un relativo diferente número atómico y los alotopos los que tienen diferente masa atómica los cuales forman el elemento; el que sea de mayor porcentaje por el se da nombre que el elemento más electronegativo es el fluor con un 40 Que hay no metales, metales y halógenos y que según su distribución electromagnética se clasifican en los grupos, periodos y se identifican sus números cuánticos. También que el número de Abogadro se relaciona con el C12.<sup>4</sup>

Para este caso, el alumno se refiere principalmente a características eléctricas del átomo y, además de las incongruencias, como la descripción está vinculada a ideas del modelo atómico sin conexiones con el mundo de las sustancias, los conceptos "isótopos" y "alótropos" (léase alótropos) aparecen no diferenciados para el elemento y la sustancia simple respectivamente. Los conceptos enunciados corresponden a diferentes grados de abstracción y a diferentes grados de relación con el objeto, las sustancias y sus comportamientos, pero esto no es diferenciado, y cada concepto es nombrado a través de sí mismo y no por medio de otros conceptos o en relación con un objeto, evento o propiedad. Estas relaciones conceptuales de coordinación están conectadas a la memoria mecánica, al recuerdo de las palabras aisladas que se utilizan para la definición del concepto y no a su significado.

Las ideas de los alumnos cuando interactúan con una colección de materiales con el propósito de clasificar sustancias, manifiestan un comportamiento diferente a cuando se trata de expresar su comprensión mediante lenguaje escrito. Cuando se relacionan con mues-

tras de la colección (cobre metálico —Cu<sub>(s)</sub>—, clavo de hierro, magnesio metálico —Mg<sub>(s)</sub>—, carbón mineral, cerilla, aire), la actividad clasificatoria está centrada en seleccionar criterios perceptuales correspondientes a los signos superficiales de las muestras: color, brillo, dureza o polvo. En ningún momento los alumnos ponen en acción los conceptos *sustancia simple* o *compuesta*, *elemento* o *mezcla*; no toman la iniciativa de realizar una clasificación con criterios diferentes a los anotados. Es necesario que la docente sugiera esos conceptos para realizar nuevo ordenamiento. A raíz de esta sugerencia, los materiales son clasificados por los alumnos como elementos, pero no diferencian cuáles son sustancias simples y cuáles son mezcla de sustancias. El aire, una mezcla homogénea, es asumida como oxígeno; el carbón mineral, una mezcla de hidrocarburos, es tomado como carbono; la cerilla, una mezcla, es adoptada como fósforo; el clavo, una aleación, es clasificada como elemento; el hierro, el cobre y el magnesio metálicos son asumidos como elementos. En otras palabras, el elemento es concebido como lo perceptible inmediato, sin el conocimiento aprendido durante la instrucción en cursos de química y sin una atención lógica al simbolismo expresado en los rótulos de las muestras. Todo ello manifiesta el realismo ingenuo, evidente, cuando se relacionan los participantes con el problema de resolver la clasificación de materiales

Así, los estudiantes están comprometidos de modo principal con la percepción visual. Es necesaria la mediación de la profesora y desarrollar actividades planeadas en la perspectiva de la teoría de aprendizaje significativo, para que ellos trasciendan a una percepción fundamentada en el conocimiento químico, acepten el desaprendizaje y tomen conciencia para construir nuevos significados en un proceso de aula relativamente largo. La diferencia de solución ante dos situaciones dis-

4 Es textual tal como lo escribe el alumno.

tintas y afines, y el dominio de lo perceptual inmediato en el segundo caso, son indicativos de cómo se aprende de modo mecánico una serie de palabras y la ausencia de significados adecuados para los conceptos *sustancia simple*, *elemento*, *sustancia compuesta* y *mezcla*, así como el no aprendizaje del significado del símbolo químico, al no considerarlo en ningún momento para optar por alguna decisión.

## CONCLUSIONES

El realismo abstracto del significado de *elemento químico* como la sustancia básica, se ha construido en los últimos doscientos años; se ha hecho más abstracto, superracional, y el número atómico se ha creado como la cualidad esencial de la organización de los elementos químicos. Las sustancias simples de Boyle y Lavoisier, equivalentes de los elementos y productos de la descomposición química, fueron superadas por la diferencia intuitiva y racional de Mendeléiev entre átomo y molécula, y entre elemento y sustancia simple, y por los progresos posteriores de la racionalidad de la fenomenología científica. Ésta ha dado lugar a precisar la teoría de la simplicidad, a un desplazamiento de los cuatro elementos de Empédocles y Aristóteles, planteados como punto inicial, y a una comprensión del progreso de la racionalidad del atomismo de Demócrito, diferenciado de aquel otro en que no reconoce la distinción de propiedades de la unidad fundamental (elemento) de las del todo (sustancia simple), denotándose en la época contemporánea, de modo argumentado, la diferencia de los conceptos *elemento químico* o *sustancia básica*, *sustancia simple*, *sustancia compuesta* y *átomo*.

La ausencia de una epistemología de la química en la formación de profesores de química, en los químicos, y en los textos de química, al presentar los diferentes conceptos y modelos, en particular la epistemología del concepto *elemento químico*, perpetúa las ideas del realismo ingenuo, en detrimento de la construc-

ción de la racionalidad del conocimiento químico en contextos de enseñanza y aprendizaje. Se abandona, de este modo, a los alumnos, a establecer conceptos inadecuados y relaciones confusas y arbitrarias, que poco ayudan al aprendizaje significativo del conocimiento químico, y se constituyen en fuertes obstáculos mentales para el aprendizaje.

El conocimiento expuesto por los alumnos es transmitido a éstos mediante el discurso del profesor y por los textos escolares, y el grado de significatividad y diferenciación de los conceptos depende de los significados verbales presentados por el docente durante la intervención en el aula y de cómo han interactuado con éste y con otros medios didácticos.

El concepto *elemento químico* no susceptible de experiencia directa y los conceptos *sustancia simple* y *compuesta* y de *mezcla*, conceptos científicos de naturaleza operatoria y teórica, requieren de diseñar adecuadamente actividades de aula teóricas y prácticas, para encauzar el aprendizaje significativo de los alumnos. Se trata de si los estudiantes, cuando interactúan con ellos, tienen los prerrequisitos para su adquisición, con qué grado de profundización son trabajados en el aula, con cuál grado de diferenciación y de relaciones conceptuales entre ellos, y principalmente cómo se distinguen, a la luz del progreso epistemológico, los conceptos *elemento químico*, *sustancia simple* y *átomo*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACHELARD, G., 1971, *Epistemología*, Barcelona, Anagrama.

\_\_\_\_\_, 1993, *La filosofía del no*, Buenos Aires, Amorrortu.

BROWN, T. L.; 1993, LEMAY, H. E. y BURSTEN, B. E., *Química, la ciencia central*, 5.<sup>a</sup> ed., México, Prentice-Hall.

CHAMIZO, J. A., 2002, *El maestro de lo infinitamente pequeño John Dalton*, Bogotá, Pangea y Colciencias-Alfaomega.

CHANG, R., 1999, *Química*, 6.<sup>a</sup> ed., México, McGraw-Hill.

CID, J., 1977, *Historia de la ciencia 1. Antigüedad y Edad Media*, Barcelona Planeta.

DYNNIK, M., A., 1968, *Historia de la filosofía I. De la Antigüedad a comienzos del siglo XIX*, México, Grijalbo, S. A.

JENSEN, W. B., 1998, "Logic, History, and the Chemistry Textbook, II. Can We Unmuddle the Chemistry Textbook?", *Journal of Chemical Education*, vol. 75, núm. 7, pp. 817-828.

LAVOISIER, A. L., 1982, *Tratado elemental de química*, Barcelona, Alfaguara.

MOORE, F. J., 1953, *Historia de la química*, Madrid, Salvat.

PANETH, F. A., 1962, "The Epistemological Status of the Chemical Concept of Element (I y II)", *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. XIII, núm. 49, pp. 1-14; 144-160.

ROUNDY, W. H., Jr, 1989, "What Is an Element?", *Journal of Chemical Education*, vol. 66, núm. 9, pp. 729-730.

SERRES, M., 1989, *Historia de las ciencias*, Madrid, Cátedra.

## REFERENCIA

**A**LZATE CANO, María Victoria "Elemento, sustancia simple y átomo: tres conceptos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos", *Revista Educación y Pedagogía*, Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, vol. XVII, núm. 43, (septiembre-diciembre), 2005, pp. 179-193.

Original recibido: septiembre 2005

Aceptado: diciembre 2005

**Se autoriza la reproducción del artículo citando la fuente y los créditos de los autores.**

