



Un análisis histórico–epistemológico de los trabajos de Mendeleiev sobre la periodicidad química*

Fredy Garay Garay**
Rómulo Gallego Badillo***
Royman Pérez Miranda***

Artículo recibido: 3-04-2006 y Aprobado: 7-09-2006

Analysis historical-epistemology of the mendeleiev's work about chemistry periodic

■ **Resumen:** Se presenta aquí un análisis histórico-epistemológico del proceso que siguió Mendeléiev para construir el modelo de periodicidad y su representación icónica en la tabla periódica que lleva su nombre. Se destaca el significado que tuvo para la sistematización del conocimiento químico. Igualmente, se pone de presente la importancia e influencia que tuvieron otros científicos, como las elaboraciones conceptuales y metodológicas que posibilitaron el trabajo de este personaje.

Palabras clave: historia, epistemología, modelo científico, ley periódica y tabla periódica.

■ **Summary:** This paper show a historical-epistemology analysis of the process Mendeléiev followed for building a periodical model and this iconic representation in the periodic table which takes his name. It's important the meaning the knowledge chemical system. Also, it tries to show the magnitude and influence that others scientifics had like conceptual and methodical manufacture which made possible the work of this important person.

Key words: History, epistemology, scientific model, low and periodic table.

* En este artículo se recogen reflexiones e indagaciones del proyecto "Los sistemas dinámicos y el pensamiento sistémico en el aula". Centro de Investigaciones de la Universidad Pedagógica Nacional, CIUP, código DFI 036 – 04.

** Maestría en Docencia de la Química. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.

*** Profesores de la Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.





Introducción

El modelo de la periodicidad química y su representación gráfica en la tabla periódica es una de las elaboraciones significativas para comprender la construcción de la química como una de las ciencias de la naturaleza. En dicha tabla, en especial la de uso actual, se recoge de manera sintética todo el saber que los especialistas de esta ciencia han logrado construir. La tabla periódica es una organización de carácter hipotético deductivo, desde la primera versión que hizo pública Mendeléiev. Esta constituye un instrumento esencial para representar las estructuras de las moléculas y construir nuevos materiales, de conformidad con lo establecido por Hoffmann (1997).

No obstante lo anterior, en la enseñanza habitual de la química, tanto en los niveles básico y medio como en el universitario, si bien se suelen mencionar los nombres de algunos científicos que contribuyeron a la elaboración de la ley periódica, entre ellos el de Mendeléiev, y se señalan ciertos antecedentes, por lo general no se analiza en el aula el proceso histórico-epistemológico que condujo a la formulación del modelo de periodicidad y su representación gráfica, algo que podría ser una de las causas de la utilización mecánica de la misma por parte del estudiantado y, además, a la memorización de la información que ésta contiene.

Las anotaciones precedentes fueron una de las motivaciones que condujeron a la realización del presente estudio, inspirado en la hoy reclamada necesidad de introducir en la enseñanza de las ciencias, los aspectos históricos y epistemológicos, puesto que se afirma

que ellos contribuyen a una mejor comprensión de cada una de las ciencias de la naturaleza, cuyos modelos se hacen objeto de trabajo en el aula (Matthews, 1994).

Sobre la categoría de modelo científico, hay que afirmar que éste se retomó a finales del siglo XX (Giere, 1990; Lombarda, 1998); para dar cuenta del estatuto científico de las disciplinas diferentes de la física, incluyéndola como estructuras conceptuales y metodológicas de carácter hipotético deductivo, los modelos son clasificados en icónicos o gráficos, analógicos y simbólicos (Caldin, 2002). Los modelos son representaciones de una porción de naturaleza, pero no son la naturaleza en sí.

De las leyes científicas hay que puntualizar que sus conceptualizaciones han sido objeto de polémicas permanentes (Hanson, 1977). Desde Newton en la física, son relaciones matemáticas entre los conceptos de una estructura conceptual y metodológica, recogiendo en ellos las relaciones de causalidad. No obstante una ley, y dependiendo del modelo científico, puede no estar expresada en el lenguaje axiomático de las matemáticas, limitándose a dar cuenta de la regularidad de ciertos hechos en las mismas condiciones.

De la relación historia y epistemología de las ciencias

T. S. Kuhn (1972) anotó que no era válido reflexionar en torno a la epistemología si esta no se apoyaba en una revisión histórica. Señaló, además, que la mayoría de los docentes enseñan una ciencia que pertenece al pasado, por lo que, sin saberlo, en su práctica hacen una especie de historia, desconociendo





la metodología de los historiadores de esta área de la cultura universal. Habría que agregar al respecto que sólo en aquellos casos en que se trabajan los modelos científicos que se están discutiendo o con los que se está generando investigación competitiva, basada en las revistas especializadas, lo establecido por Kuhn sería irrelevante. No obstante, esto no es lo que sucede en gran parte de los currículos de educación básica, media y profesional universitaria. De hecho, los colectivos de investigación que producen ciencia están construyendo la historia de la disciplina que trabajan.

En este espacio de reflexiones sobre la actividad de los científicos, I. Lakatos (1983) señaló que toda revisión histórica se realizaba desde la adopción de una determinada posición epistemológica. En consecuencia, no podría sostenerse una historia sino distintas versiones que dan cuenta, desde esos específicos puntos de vista, de la construcción, admisión y desarrollo, en este caso, de un modelo científico determinado. La historia como reconstrucción, basada en una mirada epistemológica, le dio mayor contenido a lo estipulado por T. S. Kuhn (1972), ya que se identificó que la sola alusión a los científicos no podía admitirse como tal, sino tan sólo como una versión ingenua de esa historia. Aquella idea de que la historia era la narración verídica de los hechos sucedidos en un tiempo y en un espacio geográfico delimitados, para el caso de las ciencias, quedó desvirtuada.

Desde estas precisiones se identificaron, además, dos versiones. La primera, que suele centrarse en una narración de carácter lineal, en la que se da por

sentado que unas construcciones conceptuales y metodológicas, dentro de la linealidad de las relaciones causa-efecto, condujeron simplemente a las siguientes y, por tanto, a la formulación del modelo científico que terminó admitiendo la comunidad respectiva de especialistas. Los historiadores señalan que los científicos tienden a esquematizar y a tergiversar la historia, ya que eliminan las pistas falsas y los caminos sin salida, con el fin de inventar una senda que, desde el pasado, desemboque directamente en la ciencia actual (Bensaude-Vincent, 1991).

Siguiendo a Kuhn (1972), tal versión lineal suele desconocer que en cada época hubo paradigmas en competencia, teorías rivales (Popper, 1962), programas de investigación competitivos (Lakatos, 1983) o la no admisión (y burla) de modelos científicos, como fue el caso del de J. Dalton, por parte de los físicos (Schneer, 1975). Esta mirada socializa una versión tergiversada de los científicos y de la actividad en la que se involucran (Gallego Torres, 2002), a la vez que impone la concepción del predominio de una racionalidad, en la que las rivalidades, los intereses, deseos y aspiraciones personales de los científicos no han desempeñado papel alguno en la construcción y desarrollo de cada una de las ciencias de la naturaleza.

Otra, la no lineal y compleja, es aquella que analiza todo lo que no se contempla en la versión anterior, para construir una aproximación más sostenible en torno a la construcción histórico-epistemológica de un determinado modelo científico. Para tal efecto, hay que cruzar las informaciones disponibles, hacer precisiones temporales, especificar las concepciones desde





las cuales distintos colectivos estaban trabajando en esa o en otra dirección conceptual y metodológica, tanto como las intencionalidades profesoras que, en términos de formación de la nueva comunidad de especialistas, hay en la base de una reconstrucción histórica que se aparta de las versiones empiropositivistas.

En el caso de la química, una tradición con sus respectivas variaciones viene imperando desde el siglo XVIII. Esta tradición la divide en distintos períodos, desde la denominada protohistoria hasta el actual, para reconstruir su desarrollo histórico. En las últimas décadas del siglo pasado, esa historia se ha elaborado acudiendo a la categoría de revolución, en un sentido distinto de la correspondiente categoría de T. S. Kuhn (1972). Se proponen entonces tres períodos revolucionarios, denominados, sucesivamente, composición molar, estructura molecular y estructura electrónica, en los que se reconoce que esa historia no es lineal (Jensen, 1998). Hay que anotar que este historiador autor le concede poca relevancia a la construcción de la ley periódica y su representación en la tabla periódica.

En el presente estudio se enmarcan los trabajos de Mendeléiev en un enfoque que lo sitúa en la dimensión histórica que merece su aporte al desarrollo de la química como una ciencia de la naturaleza, aun cuando sus concepciones científicas son en la actualidad objeto de críticas (Bensaude-Vincent, 1991; Ben-Zvi y Genut, 1998). La comprensión de la construcción de la ley de periodicidad y su representación gráfica en la tabla periódica requieren reflexiones no simplistas (Nelson, 2002).

Algunas anotaciones biográficas

Dentro de la admisión de que las ciencias de la naturaleza se han construido históricamente por seres humanos, se incluye este subtítulo para ubicar a Mendeléiev en el contexto político y económico en el que nació y llevó a cabo su actividad científica. Nace el 8 de febrero en la ciudad siberiana de Tolbosk y muere el 2 del mismo mes, en 1907, en la imperial San Petersburgo. Su vida y su obra se encuentran estrechamente ligadas a las condiciones existenciales del pueblo ruso y al dominio ejercido por los zares de la dinastía de los Romanov. En consecuencia, es testigo de una época de tribulaciones sociales, políticas y económicas, cuyo epicentro fue San Petersburgo. En esta ciudad se radicó a partir de 1861, cuando regresa después de realizar un viaje de formación científica, en algunos países de Europa occidental (Polo, 2000).

Mendeléiev se ocupó de los problemas del desarrollo económico de su país, ya que trabajó en el fomento de la explotación de las minas de carbón y recursos petrolíferos, en el perfeccionamiento de la industria pesada; en la mecanización y el mejoramiento químico de las producciones agrícolas, en la producción de abonos minerales; en la creación de una red de estaciones agropecuarias experimentales; en la implementación de laboratorios de investigación para la producción de pólvora sin humo, obediendo a un encargo del Ministerio Naval ruso. En este orden de ideas, hay que destacar sus esfuerzos para que en su país natal se les concediera a las ciencias de la naturaleza el papel protagónico que tenían en Europa, a partir del movimiento ilustrado y el enciclopedismo





francés. Presidió, igualmente, la Oficina de Pesas y Medidas, imponiendo el sistema métrico decimal (Polo, 2000).

De la misma manera como la brevisima referencia que en los cursos y textos de enseñanza hacen de su nombre, en lo tocante a la tabla periódica, se suele ocultar la labor que se resume en el párrafo anterior, se desconoce también el hecho de que se ocupó sistemáticamente del estudio de los problemas relacionados con capilaridad, tensión superficial y estructura de la materia, caso éste cuyas reflexiones se apartaron de las que la comunidad científica estaba elaborando en ese momento (Bensaude-Vincent, 1991).

La tabla periódica de Mendeléiev, publicada por primera vez en 1869, en un congreso celebrado en Rusia, permitió a los asistentes conocer los resultados de su trabajo científico. Esta tabla permitió comprimir la información disponible para la época en un gráfico, lo que significaba para los estudiantes que ya no tenían que cargar con esos libros que recolectaban una serie de hechos aislados, dado que en este gráfico se sistematizaban los datos anotados.

Una versión diferente de la historia de la química va más allá del reconocimiento de la contribución que tuvo la tabla periódica en la clasificación de los elementos, dejándola ver, además, como una herramienta conceptual con la que se predijo la existencia de nuevos elementos, predicción basada en las propiedades físicas y químicas de aquellos que se encontraban rodeándolos. Es así como la tabla permitió establecer relaciones no reconocidas y adquirió el papel de memoria y sistema de organización (Van Spronsen, 1969).

Hay que destacar que la tabla periódica de Mendeléiev fue parte constitutiva de su texto *Los principios de química*, escrito entre 1868 y 1870, que surgió de la necesidad que él tuvo de facilitar la comprensión por parte de sus estudiantes de los métodos de observación, de las razones de las prácticas experimentales, de las leyes de la química y del comportamiento en general de los materiales. Cabe mencionar que una lectura actual del texto lo clasificaría como un texto de química general.

El libro de Mendeléiev tuvo ocho ediciones en ruso, en vida del autor, y cinco más después de su muerte. A pesar de la larga historia de la tabla periódica y su relevancia para la química y en el proceso enseñanza/aprendizaje de la misma, historiadores y filósofos de ciencia están intentando todavía entender su origen, naturaleza, desarrollo e importancia en la evolución de la química como una de las ciencias de la naturaleza (Bensaude-Vincent, 1991; Scerri y Worrall, 2001).

De los antecedentes

G. Bachelard (1976) anota que el trabajo sobre la construcción del modelo de periodicidad y su representación gráfica tuvo muy poco reconocimiento internacional durante la vida del científico ruso, hasta el punto de que, tan sólo medio siglo después, tras las modificaciones que siguieron, se le empezó a otorgar la importancia filosófica que tuvo. Señala que el peso atómico empleado por Mendeléiev es un número relativo que se deduce de las relaciones ponderales. Indica que no consideró los pesos atómicos absolutos. Tal afirmación hay que comprenderla

en el interior de la interpretación en la que algunos historiadores de la química suelen hacer sus retrospectivas (Jensen, 1998). En oposición a esta versión, se requiere, así sea acudiendo a una mirada lineal, revisar aquellos datos de los que en su momento dispuso Mendeléiev con respecto a los pesos atómicos relativos. El principio es que no se puede juzgar, con las elaboraciones del presente, los fundamentos en los que se basaron los anteriores constructores de la química.

En cuanto al problema de los pesos atómicos relativos, hay que destacar que desde su formulación del primer modelo icónico para los átomos, J. Dalton propuso en 1805, una primera tabla de pesos atómicos, en las *Memories of Literary and Philosophical Society*, de Manchester. En su *A New System of Chemical Philosophy*, en la que expone su modelo atómico y da a conocer su representación, aparecida en 1808; allí amplía y perfecciona su tabla de pesos atómicos. Se está en el período en el que Lavoisier formula la ley de la conservación de los pesos en las reacciones químicas; J. L. Proust ha concluido de sus trabajos experimentales la ley de las proporciones constantes, acerca de la cual Berthollet inicialmente se opuso; Dalton enuncia la ley de las proporciones múltiples, y Gay-Lussac propone la de los volúmenes de combinación, que Dalton contravirtió. La extraña aritmética de esta ley fue explicitada, por Avogadro, con la hipótesis que lleva su nombre. Con base en esta hipótesis, Laurent definió los conceptos de peso molecular, de molécula, de átomo y de equivalente, este último en términos de que si un elemento se combina con otro en diferentes proporciones de peso,

es que tienen distintos equivalentes o valencias (Lockemann, 1960).

J. B. Richter, desde la admisión de lo establecido por Kant, de que una ciencia auténtica es aquella que es matemática, tuvo como proyecto intelectual introducir la matemática en la química. Entre 1792 y 1793 publica sus *Principios de estequiometría o ciencia de medir los elementos químicos*, en tres tomos, en los que propone y desarrolla su concepción de la existencia de pesos de combinación o pesos equivalentes de las sustancias simples (Lockemann, 1960), problema éste en el que aportó C. F. Wenzel.

De la lectura de Wenzel y de Richter, J. J. Berzelius se interesó por las leyes de las proporciones, en el contexto del modelo icónico de Dalton. La ya olvidada ley del oxígeno, que fue la base de su trabajo, enunciada en 1810, constituyó el punto de partida para proponer que este compuesto simple era central en química. En 1814, el inglés W. H. Wollaston propone el término alternativo “peso equivalente” respecto al oxígeno. Berzelius procedió entonces a convertir los pesos atómicos, tomando como referencia al oxígeno, al que le atribuyó un peso relativo de 100. Desde esta decisión se dio a la tarea de determinar los pesos atómicos relativos de las sustancias simples conocidas en su época. En 1818 publicó su *Tabla de pesos atómicos*, que perfeccionó en 1826. Más tarde, con base en los pesos relativos de la combinación del hidrógeno con el oxígeno, tomó el hidrógeno como unidad para calcular los pesos atómicos relativos de las demás sustancias simples conocidas. Estos cálculos exigieron la alteración de los pesos atómicos ya admitidos, lo que sembró dudas sobre esta operación. Para



evitar este problema, J. S. Stas, en 1850, propuso tomar como base el peso atómico relativo de 16,00, que se le asignó al oxígeno.

Habría que hacer aquí referencia a la química analítica en lo tocante a la temática objeto de estudio. M. H. Klaproth era el químico analítico más grande de la Europa de entonces, reconocimiento hecho por Berzelius. El análisis volumétrico fue transformado por R. G. Bunsen, quien en 1855 ideó en análisis espectral, cuya publicación, en colaboración con G. Kirchoff, dio a conocer en 1859. Se insiste en que lo anotado, es eminentemente lineal. Es en este desarrollo en el que se deberían inscribir los trabajos de Mendeléiev: contexto de la determinación experimental de los pesos atómicos relativos.

Con respecto al concepto de peso atómico relativo, es importante la elucidación que hizo Stanislao Cannizzaro en el Congreso de Karlsruhe en 1860, ya que fue crucial para la formulación del modelo de periodicidad química. Tres de los científicos que se adentrarían, y posteriormente postularían sus versiones de modelo de periodicidad química, asistieron a dicho congreso. Aun cuando la formulación y la consolidación de un modelo de periodicidad demandarían un periodo de tiempo prolongado debido al desacuerdo de los especialistas en torno a una concepción de peso atómico, desacuerdo relacionado con las formas de significar aquello que se quería dar a entender con molécula y átomo.

La disponibilidad de los pesos atómicos relativos de aproximadamente 60 elementos le permitió a Mendeléiev ordenar los elementos en su tabla según

las propiedades físicas y químicas, tales como la densidad, el calor específico, el peso atómico, el volumen atómico, el punto de fusión, la valencia, la formación de óxidos, cloruros y sulfuros. En contraste con otros formuladores, el trabajo de Mendeléiev se caracterizó por la división en un grupo principal y subgrupos, dejando espacios libres para los elementos no identificados, junto con la predicción de algunas de sus propiedades; por ejemplo, algunos elementos homólogos, la posterior clasificación de los metales de transición y la inversión de telurio-yodo (Van Spronsen, 1969).

Una versión lineal de las propuestas de clasificación

La idea de la construcción de una sistemática química de las sustancias simples se remonta a Berzelius, quien dentro de su proyecto de hacer de la química una de las ciencias de la naturaleza, en 1810, según el comportamiento electroquímico, clasificó estas sustancias conocidas en dos grandes grupos: los electropositivos o metales, y los electronegativos o no metales; para estos últimos, se generalizaría más tarde la denominación de metaloides. Posteriormente, en 1813, Thénard clasificó los metales en seis grupos, según su oxidabilidad, y en 1828, Dumas reunió los metaloides en cinco grupos, según la similitud de su comportamiento químico.

La historia del origen y posterior desarrollo de propuestas de sistemas periódicos muestra que uno de los primeros en plantear una representación de la periodicidad fue Döbereiner, en 1817, conformada por grupos de tres elementos a los que denominó tríadas,



como por ejemplo la del calcio, estroncio, y bario. La razón de las triadas consistía en que el segundo elemento tenía un peso atómico relativo promedio entre los pesos del primero y el tercero; así, el peso atómico del estroncio era el resultado del promedio entre los pesos atómicos relativos del calcio y del bario. Después de esta propuesta, se hicieron muy pocos intentos de clasificar los elementos entre 1800 y 1860.

La propuesta de Döbereiner se consideró producto de la casualidad por el escaso número de triadas que se podían componer con las sustancias simples conocidas. Dado que quedaban muchos interrogantes por resolver, la atención se centró en las investigaciones que efectuaba el farmacéutico alemán Friedrich Wöhler (Taton, 1973) quien en 1828 sintetizó cristales puros de una sustancia orgánica, la urea, a partir de una sustancia inorgánica, el isocianato de amonio.

Muchos historiadores consideran que el Congreso de Karlsruhe, y uno de cuyos organizadores fue Kekulé, constituyó un hito en la historia del desarrollo de la química. Un volante, fechado el 10 de julio de ese año, fue enviado por los organizadores del congreso a la mayoría de los químicos de Europa y perfiló su objetivo en la necesidad de alcanzar un acuerdo general, pretendiendo hacer las definiciones más precisas de los conceptos de átomo, molécula, equivalente, atomicidad, alcalinidad, entre otros, la discusión en relación con los pesos equivalentes de las sustancias y sus fórmulas, y la iniciación de un plan para una nomenclatura racional.

Mendeléiev, que para ese entonces tenía 26 años, participó en este congreso

y se impresionó con las disertaciones realizadas por Cannizaro. A raíz de estas disertaciones decide entender en una forma diferente los conceptos de átomo y molécula, que afirmaba que una molécula era la cantidad de sustancia que entraba en una reacción y determinaba las propiedades físicas y químicas, mientras que un átomo era la cantidad más pequeña de una sustancia incluida en una molécula. Mendeléiev va más allá, ya que explicita que el peso equivalente obedecerá a datos empíricos, puesto que no dependía de los conceptos de átomo y molécula. Como prueba de lo anterior están sus escritos en torno a periodicidad química.

Después del trabajo de Döbereiner, Chancourtois propone en 1862 un modelo helicoidal en el que plasma su idea de tabla periódica. Es uno de los primeros en reconocer que las propiedades de los elementos dependen de su peso atómico relativo, por lo que se dio a la tarea de distribuir los elementos en dos dimensiones en el plano, según el orden creciente de sus pesos atómicos relativos. Los ubicó de tal manera que los elementos con propiedades análogas quedaban en un mismo eje. Hay que destacar también que, W. Odling organizó 57 elementos en el orden creciente de pesos atómicos relativos en 1864, trabajo éste de poca repercusión. Odling, al igual que muchos de los interesados en la periodicidad química, estuvo presente en Karlsruhe.

Por otro lado, A. J. Newlands postula la ley de las octavas en 1865. Según esta ley, las propiedades de los elementos se repiten después de cada serie de siete. Fue criticado por cuanto no era aplicable a los elementos cuyos pesos atómicos



relativos fueran más allá del calcio. No obstante, con base en esta propuesta se comienzan a diseñar los gráficos de tabla periódica y empieza a surgir el modelo de periodicidad química. Un año después de que Newlands publicara su trabajo, Hinrichs da a conocer su modelo de tabla periódica basado en la forma de los átomos, la que a su vez se fundaba en la interpretación de los datos espectrales.

L. Meyer, químico alemán, quien también participó en el Congreso de Karlsruhe, elaboró en 1864 la primera de una serie de tablas que presentaría como parte de un libro de texto años más tarde. Meyer basó su tabla en la teoría atómica de Dalton, en la hipótesis de Avogadro y principalmente en la determinación de los volúmenes ocupados por los elementos en condiciones iguales de presión y temperatura. Con los resultados obtenidos, organizó los elementos en un plano. En el eje vertical puso los volúmenes y en el eje horizontal los pesos atómicos relativos. Observa que los elementos con propiedades análogos ocupaban posiciones similares. Meyer da a conocer sus trabajos en 1870. Cuando su publicación comienza a circular, advierte que no posee la exclusividad de la autoría de los trabajos relacionados con la periodicidad química. Reconoció por tanto que Mendeléiev no sólo se le había adelantado, sino que había diseñado no una gráfica como la que él elaboró, sino una tabla que, además de cumplir la misma función de ordenamiento, permitía predecir las propiedades de los elementos no identificados hasta entonces.

En la publicación que hace Mendeléiev el 17 de febrero de 1869, titulada

“Ensayo de un sistema de elementos basado en su peso atómico y en la afinidad química”, difunde su primer modelo de tabla periódica (Campbell, 1989), y su propuesta de lo que hoy se conoce como ley periódica, con la que estipula que las propiedades de cuerpos simples, la constitución de sus compuestos, así como las propiedades de éstos, son funciones periódicas de los pesos atómicos de elementos (Mendeléiev, 1879). En este ensayo concluye que:

- Si los elementos se distribuyen de acuerdo con el aumento progresivo de sus pesos atómicos relativos, se manifiesta una evidente periodicidad en sus propiedades.
- Los elementos con propiedades químicas similares pueden tener pesos atómicos relativos muy semejantes, como ocurre con el osmio, el iridio y el platino. O sus pesos atómicos relativos aumentan progresivamente según una razón aritmética, como el caso del potasio, rubidio y cesio.
- La distribución de los elementos en grupos, según el orden de sus pesos atómicos relativos, corresponde a un agrupamiento según el orden de sus valencias.
- Los elementos que están ampliamente difundidos en la naturaleza, se caracterizan por sus pesos atómicos relativos bajos y tienen propiedades marcadamente definidas. Éstos son, por consiguiente, elementos típicos.
- El carácter de un elemento está determinado por la magnitud del peso atómico relativo.
- Es de esperar la identificación de elementos que aún no se conocen. Por ejemplo, análogos al aluminio y al silicio, cuyos respectivos pesos



atómicos relativos tendrán valores cercanos a 65 y 75.

- El peso atómico relativo de un elemento puede corregirse con la ayuda del conocimiento que se posea de los pesos atómicos relativos de los elementos contiguos; así por ejemplo, el peso de combinación del Telurio debe estar entre 123 y 126, pero no puede ser de 128.
- Es posible predecir ciertas propiedades de los elementos si se conocen sus pesos atómicos relativos.

En torno a lo histórico-epistemológico

La discusión de la época gira alrededor de la diferencia entre sustancias simples y elemento, cuya distinción establece Mendeléiev. En este contexto, ocupa un papel destacado la controversia en torno a la hipótesis de Prout, que impone la primacía del peso atómico como criterio de clasificación, en contra de la de A. Ampère, basada en las propiedades químicas. Odling es quien hace hincapié en la regularidad y en las diferencias de los pesos atómicos. En este orden de ideas, el ruso va más allá, puesto que, en marzo de 1869, desde el patrón de periodicidad, hace sus predicciones, que hoy son bien conocidas. Su interés está centrado en la construcción de un modelo de periodicidad y no en su representación gráfica (Bensaude-Vincent, 1991).

Se anota que, aun hoy en día, historiadores y filósofos de las ciencias continúan debatiendo sobre los puntos cruciales que permitieron la aceptación de la ley periódica por la comunidad científica. Por un lado, si la admisión se había debido al ordenamiento de los elementos existentes, o por otro, si ha-

bía sido consecuencia de la predicción de nuevos elementos (Akeroyd, 2003; Scerri y Worrall, 2001). Con todo, la tendencia general va hacia el carácter predictivo, de tal forma que se le otorgó un reconocimiento mayor a la tabla de Mendeléiev después de identificarse del primer elemento predicho por él en 1875, el galio (Scerri y Worrall, 2001), corroborando así las predicciones hechas por el científico en sus trabajos sobre la ley de periodicidad.

Según Van Spronsen (1969), además de presentar los pesos atómicos relativos y las propiedades físicas y químicas, de los elementos conocidos, Mendeléiev concluyó que la validez de su sistema periódico no sería objeto de cuestionamiento. La confirmación de esta predicción es un punto significativo en la historia del sistema periódico, puesto que resuelve la disputa entre los filósofos de la ciencia en cuanto obligó a repensar la diferencia entre el ordenamiento en 1869 o la propuesta de 1875 con la identificación del galio. Mendeléiev fue el principal crítico de su trabajo y durante el desarrollo de éste corrigió los pesos atómicos de varios de los elementos conocidos hasta entonces; por ejemplo, cambió el valor de 14 a 9 del berilio, o de 120 a 240 el del uranio, lo cual establece un nuevo criterio para dirimir la discusión entre filósofos e historiadores de las ciencias.

Con la identificación de un gas inerte, el argón (Giunta, 1998) se emerge uno de los principales problemas del carácter predictivo de la tabla periódica propuesta por Mendeléiev. Esta identificación impulsó un debate organizado por Rayleigh y Ramsey con el objeto de esclarecer la naturaleza del gas y su



lugar dentro de la tabla periódica. Este problema se convirtió en uno de los desafíos que debió enfrentar la ley periódica, el cual se superó con la inclusión de un nuevo grupo, conocido como el grupo de los gases inertes o nobles.

La pregunta por resolver fue la que indagaba por la relación existente entre el modelo atómico y la conceptualización del modelo de periodicidad. Para dar respuesta a este cuestionamiento, se hace necesario mostrar la información recolectada por Mendeléiev en la época de la formulación de su modelo de periodicidad. Por un lado, se encontraba el modelo de átomo propuesto por Dalton (Taton, 1973), la ley de las proporciones múltiples, los aportes hechos por Cannizzaro, los pesos atómicos relativos determinados y algunas propiedades físicas y químicas de los elementos. Por otro lado, aun cuando Mendeléiev no expresó su modelo de periodicidad relacionándolo con el modelo atómico de Dalton, siempre dejó entrever una relación entre este modelo atómico y su propuesta de periodicidad. Es así por cuanto precisa que la ley periódica muestra que los átomos despliegan una periodicidad armónica de las propiedades, dependiente de sus pesos relativos. Se puede destacar que un aumento en los pesos atómicos relativos produce una modificación en las propiedades físicas y químicas con las que estructura su ley periódica (Rodríguez, Mansoor y Brito, 2005).

Partiendo de la convicción de que los trabajos deberían basarse en la observación experimental para no caer en lo especulativo, Mendeléiev aduce que la ley periódica es un producto derivado de una inducción legítima de

hechos verificables. Esto dejaría entrever la aproximación de Mendeléiev a la concepción de ciencia desde la lógica inductiva propuesta por el profesor Bacon (1972). Se puntualiza aquí que el fundamento de la propuesta de Mendeléiev en torno a los pesos atómicos a partir de los cuales creó su tabla para ejemplarizar la ley periódica, se basa en los resultados experimentales de las relaciones de equivalencia o de los pesos atómicos relativos, soportados en las leyes ponderales con las que los químicos estaban construyendo el estatuto científico de su disciplina. Sin embargo, el carácter predictivo de la ley de periodicidad que formula da para pensar que se inscribe dentro de una lógica deductiva.

Posteriormente, se reestructurará la tabla periódica como consecuencia de los desarrollos de las investigaciones acerca de la estructura de los átomos. Con la propuesta del nuevo modelo de átomo que postuló J. Thomson, se reformula también la ley de Mendeléiev, de tal manera que la ley periódica pasó a ser una función del número de corpúsculos (partículas con carga negativa). Esto lo sustenta en un artículo publicado por J. Thomson, en el cual explicita la variación de las propiedades a medida que se avanza en un grupo (según arreglo de Mendeléiev) con el aumento del número de corpúsculos (Thomson, 1904). Con los trabajos de Thomson y del grupo de Manchester, se sustituyó el modelo de Dalton (Uribe Beltrán y Cuéllar Fernández, 2003).

Con el avance del modelo de estructura atómica que se produjo a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, se hizo evidente una de las más impor-





tantes reestructuraciones que se realizaron al trabajo inicial de Mendeléiev. Es entonces cuando H. G. J. Moseley (1914), apoyado en el análisis de los espectros de diferentes elementos, concluye que el número atómico es igual a la carga positiva que se encuentra en el núcleo del átomo. Reformula la ley periódica en el sentido de que ésta deja de ser función de los pesos atómicos relativos para pasar a ser función de los números atómicos.

Desde lo epistemológico, si bien se ha afirmado que el modelo de periodicidad se fundamenta en la lógica inductiva, visto desde otra perspectiva (Popper, 1962; Kuhn, 1972; Lakatos, 1983) es posible afirmar su carácter deductivo, en razón de que a partir de ella se predijeron el comportamiento, las propiedades, el peso y el volumen de elementos aún no identificados en su época.

En este orden de ideas, hay que hacer claridad sobre la aproximación epistemológica de la propuesta de Mendeléiev. Aunque como se mencionó anteriormente, la formulación de su ley periódica obedeció a una lógica inductiva y su carácter predictivo a una lógica deductiva, no ha sido posible aún esclarecer si ésta fue sólo una codificación de elementos (Scerri y Worrall, 2001), o por el contrario puede asumirse como ley, teoría (Popper, 1962), paradigma (Kuhn, 1972) o programa de investigación científica (Lakatos, 1983). Los autores del presente artículo son del parecer de que la propuesta de Mendeléiev es un modelo científico, que obedece a la interpreta-

ción idealizada de un fenómeno natural que permite explicarlo, predecirlo y luego transformarlo (Adúriz-Bravo y Galagovski, 2001).

Conclusiones

Después de la disertación anterior se destaca que el trabajo de Mendeléiev sigue siendo objeto de discusión y de reflexión para los epistemólogos, filósofos e historiadores de las ciencias, debido a la importancia de sus trabajos en torno al modelo de periodicidad en la sistematización de la química y en el proceso enseñanza/aprendizaje de la misma. La introducción de los estudiantes en el significado de la tabla periódica continúa siendo problemática desde la óptica didáctica, por lo que reconstruir en el aula el proceso histórico-epistemológico que condujo a la formulación del modelo de periodicidad, constituye un reto que brilla por su ausencia en general.

El análisis histórico-epistemológico presentado anteriormente, en torno al desarrollo y la consolidación de la ley de periodicidad y su representación en la tabla periódica, muestra que la construcción de modelos científicos que estructuran a la química como ciencia no ha sido consecuencia de la casualidad o de la linealidad de las propuestas realizadas genios, sino por el contrario, es el producto de los trabajos de investigación realizados al interior de una comunidad de especialistas, mostrando así, una ciencia construida por seres humanos, dentro de un contexto político, económico, cultural social específico. ▲



Bibliografía

- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 232-242.
- Akeroyd, F. M. (2003). Prediction and the periodic table: A response to Scerri and Worrall. *Journal for General Philosophy of Science*, 34.
- Bachelard, G. (1976). *El materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós.
- Bensaude-Vincent, B. (1991). *Historia de las ciencias*, En: M. Serres (ed.), *Mendeléiev. Historia de un descubrimiento*, 502-525. Madrid: Cátedra.
- Ben-Zvi, N. y Genut, S. (1998). Uses and limitations of scientific models: The periodic table as an inductive tool. *International Journal of Science Education*, 20, 351-360.
- Campbell, J. A. (1989). Let us make the table periodic. *Journal of Chemical Education*, 66, 739-740.
- Döbereiner, J. W. (1829). An attempt to group elementary substances according to their analogies. *Poggendorfen Annalen der Physik und Chemie*, 15, 301-307
- Gallego Torres, A. P. (2002). *Contribución del cómic a la imagen de la ciencia*. Tesis doctoral. Valencia: Universidad de Valencia.
- Giunta, C. (1998). Using history to teach scientific method: The case of argon. *Journal of Chemical Education*, 75, 1322-1325.
- Hoffmann, R. (1997). *Lo mismo y no lo mismo*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Jensen, W. B. (1998). Logic, history, and the chemistry textbook: III. One chemical revolution? *Journal of Chemical Education*, 75 (8), 961-970.
- Kuhn, T. S. (1973). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Siglo XXI Editores.
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- Lockemann, G. (1960). *Historia de la química*. México: Uteha.
- Marshall, J. L. (2000). A living periodic table. *Journal of Chemical Education*, 77, 979-983.
- Mattheus, M. (1994). *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.
- Mendeléiev, D. (1889). The Periodic Law of the Chemical Elements. *Journal of the Chemical Society*, 55, 634-656.
- Nelson, P. G. (2002). Teaching chemistry progressively: From substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3 (2), 215-228.
- Newlands J. A. R. (1863). On Relations among the Equivalents. *Chemical News*, 7, 70-72.
- Polo, P. R. (2000). *Mendeléiev: el químico de las profecías*. Barcelona.
- Popper, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- Rodríguez, M.; Mansoor, N. y Brito, A. (2005). Una reconstrucción del desarrollo de la tabla periódica basado en la historia y la filosofía de ciencia y sus implicaciones para los libros de texto de química en general. *Investigación en Ciencia*, 42, 84-111.
- Scerri, E. (1998). How good is the quantum mechanical explanation of the



- periodic table? *Journal of Chemical Education*, 75, 1384-1385.
- Scerri, E. R. y Worrall, J. (2001). Prediction and the periodic table. *Studies in History and Philosophy of Science*, 32, 407-452.
- Schneer, C. J. (1975). *Mente y materia*. Barcelona: Bruquera.
- Taton, R. (1973). *La ciencia contemporánea* (tomos II y III). Barcelona: Destino.
- Thomson, J.J. (March 1904). On the structure of the atom: An investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure. *Philosophical Magazine*. Series 6, 7 (39), 237-265
- Van Spronsen, J. (1969). *The periodic system of chemical elements. A history of the first hundred years*. Amsterdam: Elsevier.

