

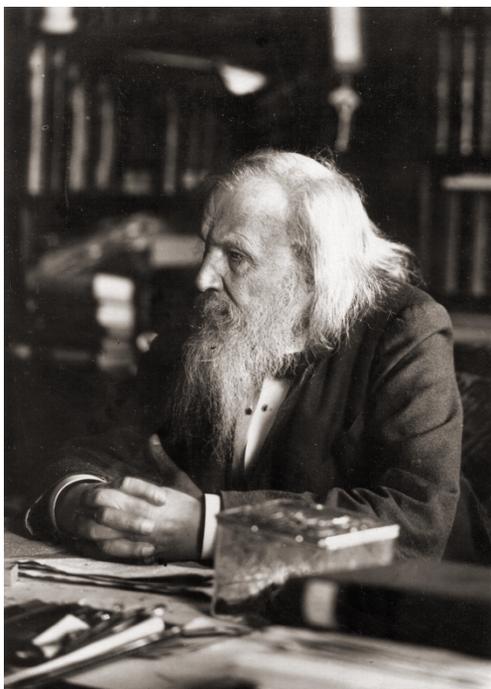
MENDELEIEV. LEY PERIÓDICA Y TABLA DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

GUILLERMO CORONADO

DEDICATORIA

A la Asociación Estudiantes de Química
de la Universidad de Costa Rica.

I



1D. I. Mendeleiev, 1887

La formulación de la Ley Periódica y la correspondiente propuesta de una Tabla Periódica de los Elementos fue la gran obra del químico ruso, DIMITRI IVANOVICH MENDELEIEV (1834-1907), y fue publicada en 1869, en la revista de la recientemente fundada Sociedad Química de Rusia. Ello le confirió fama mundial e introdujo un gran esquema de orden en la investigación química de la naturaleza.

Mendeleiev nació en Tobolsk, Siberia, un 27 de enero de 1834. Muere en San Petesburgo, por causa de una pulmonía, el 20 de enero de 1907. Fechas propias del viejo calendario Juliano todavía vigente en la Rusia zarista. En el calendario Gregoriano corresponderían al 8 y 2 de febrero. Se apunta que es el más joven de una familia de 16 o 17 miembros. Su padre, Ivan Pavlovich, ejercía de director de escuela pero por quedarse ciego como consecuencia de cataratas, no puede seguir en su puesto. Su pequeña pensión no será suficiente para mantener a tan numerosa familia. Morirá a fines de la década de los cuarenta, 1848. La madre de Mendeleiev, Marya Dmitrieva, perteneciente a una importante familia de emprendedores industriales en esa región de Siberia, se hace cargo de la familia gracias a la fabricación de vidrio, pero un incendio acaba con el negocio.

Dado que la mayoría de los miembros de la familia ya se han incorporado a sus propias actividades, y su reconocimiento de las capacidades intelectuales del menor de sus hijos, Marya decide regresar a Moscú con la esperanza que su hijo menor realice estudios universitarios. Emprende el largo viaje con Dimitri y otra hija menor. Pero fracasa en su intento pues los siberianos no son bien vistos en la universidad y su hermano en Moscú, que supuestamente la apoyaba, no aprueba que se busque formación universitaria para el joven Mendeleiev, cosa no necesaria y que él tampoco tuvo. En consecuencia, la madre de Dimitri viaja a San Petesburgo, ciudad de origen de su esposo quien se había graduado en dicha ciudad pero fue deportado a Siberia por sus ideas políticas. Con la ayuda de amigos de su difunto esposo en San Petesburgo logra que Dimitri Ivanovich sea aceptado, 1850, en el Instituto Pedagógico de San Petesburgo, a pesar que el periodo de ingresos ya había terminado. Todo ese gran esfuerzo acaba con la salud de la madre, también en 1850. Dimitri le estará siempre agradecido por sus esfuerzos y le profesará un enorme cariño y admiración. Su hermana fallece por tuberculosis. A su vez, Mendeleiev sufrirá de tuberculosis pero no cesa en sus esfuerzos por completar su formación académica. Su ciclo de estudios los culmina en 1855 y presenta un trabajo sobre Isomorfismos.

Para recuperarse de su tuberculosis viaja al sur de Rusia y pasa un año en el proceso de convalecencia en un clima más benigno que el de San Petesburgo.

A su regreso, muy recuperado, en 1856 presenta su trabajo de maestría “sobre los volúmenes específicos”. Se le encargan cursos de química teórica y orgánica en la Universidad de San Petesburgo.

En 1859, emprenderá dos años de estudios en Alemania, Heidelberg. Por ello podrá asistir al Primer Congreso Internacional de Química de 1860, organizado por A. Kekulé en Karlsruhe, como veremos más adelante. En ese congreso, su contacto con las ideas del químico italiano Stanislao Cannizzaro será de enorme importancia en la conformación teórica que lo lleva a su gran hallazgo de la ley periódica y la tabla de elementos.

Regresa a la Universidad en 1861 y sigue enseñando los cursos antes señalados. En ese mismo año, publica también un libro de texto sobre Química Orgánica. En 1865 recibe su doctorado en Química, con una tesis sobre los compuestos de alcohol y agua, y emprende su carrera como docente en propiedad.

En la Universidad de San Petesburgo se desempeñó como profesor de la Cátedra de Tecnología desde 1865, y luego por 23 años (1867-1890), Catedrático en la de Química General, pues problemas políticos con las autoridades lo llevaron a renunciar en esa fecha. Mendeleiev es de vocación liberal y choca frontalmente con las políticas conservadoras del conde Tolstoi y sucesores. De hecho, su padre también había sido liberal y por ello fue deportado a Siberia, donde nació Mendeleiev como se apuntó antes.

Mendeleiev tuvo interés en varios campos de la química, no solamente la clasificación de los elementos, y también en la incipiente industria del petróleo en Rusia. Visitará los campos petrolíferos en Filadelfia, Estados Unidos por este interés. A inicios del siglo XX, desarrolla tipos de pólvora dada la guerra sino-rusa. Además se interesa por cuestiones culturales, musicales, y políticas.

Su nombramiento en la Cátedra de Química General lo impulsó a redactar un texto básico, el cual será famoso posteriormente, su

QUÍMICA GENERAL, que trata de química inorgánica. La tarea de ordenar la materia para su enseñanza será otro acicate para su descubrimiento de la ley periódica de los elementos, al menos, según sus propias versiones. En efecto, el texto escrito entre el 1868 y 1871, contiene la ley que fue comunicada en 1869, y gracias a ello, la ley se difundirá con mayor facilidad, puesto que el tratado de **QUÍMICA GENERAL** fue todo un gran éxito, editándose muchas veces tanto en Rusia como en otros países.

El descubrimiento de la Ley se presenta, inicialmente, ante la Sociedad Química de Rusia, de la que Mendeleiev es fundador, a fines de 1868, y es leído por un colega, Nicolai Menshotkin, pues Mendeleiev estaba enfermo, en la sesión del 1 de marzo de 1869 -17 de febrero en el calendario Juliano--, con el título de "Relaciones entre las propiedades y los pesos atómicos de los elementos". Aparece publicado en la Revista de la Sociedad ese mismo año, en abril, en las páginas 60-77 del primer volumen¹. En un segundo artículo,

¹ Cabe hacer aquí una rápida alusión al papel de las nuevas revistas científicas que aparecen por ese entonces. En el caso de Mendeleiev se tiene la Revista de Química de la Asociación Química Rusa. Aparecida casi después de la fundación de la Asociación misma, en abril de 1969, y que contiene el trabajo de Mendeleiev sobre su propuesta de la ley periódica y la tabla correspondiente. La publicación trajo prestigio a la Asociación y a Mendeleiev mismo.

Por el mismo tiempo, en Brünn, actualmente Brno, la revista recientemente fundada como la entidad científica que la impulsa, publica el trabajo de Mendel sobre los fundamentos discontinuos de la genética. Pero en este caso, la Revista no adquiere resonancia y el silencio es casi la respuesta total a la propuesta de Mendel.

aparecido en la misma revista, en el año de 1871, vol 3, pp 25-51, Mendeleiev ampliará el tratamiento de la cuestión, y lo completará con las predicciones de las características de elementos a descubrir que ocuparían lugares vacíos en la tabla – entre ellos los famosos tres elementos eka- (2²). Vale la pena adelantar que la tabla periódica, una manera de plasmar las relaciones establecidas por la Ley, varió de diversas maneras en estas publicaciones.

Es interesante apuntar que el convencimiento de Mendeleiev en su Ley Periódica es tal que no la consideró más un campo estrictamente abierto a sus posteriores esfuerzos, excepto en el sentido de seguir los casos de confirmación y proponer, en virtud de las subsiguientes ediciones de su texto de **QUÍMICA GENERAL**, por ejemplo, una mayor explicitación del tratamiento de las tierras raras. Por ello,

² Tres predicciones y tres grandes éxitos. El caso de los tres elementos eka. Mendeleiev predice la existencia de elementos desconocidos, estableciendo su lugar en la serie periódica y en la correspondiente tabla. Además anticipa sus propiedades químicas.

En lo que sigue, para cada uno de ellos, se apunta por nuestra parte, su descubridor y propiedades fundamentales, incluyendo el número atómico para hacerlo más accesible al lector actual.

Se puede notar que Mendeleiev, para justificar la nomenclatura empleada, dice:

"Para no introducir en la ciencia los nuevos nombres de los elementos esperados, los denominaré por el nombre del próximo análogo inferior del número de elementos pares o impares del mismo grupo, añadiendo al nombre del elemento las palabras sánscritas del cálculo (eka, dwi, tri, chatur, etc.)". (Trífonov & Trífonov, 1984. 175)

nunca modificó el texto original de su gran libro, sino se limitó a añadir notas aclaratorias que ampliaran, aclararan, o polemizaran sobre desarrollos posteriores generados por otros autores, pero no realmente por su propio esfuerzo. En efecto, según él, la cuestión en principio ya había sido resuelta. Mayores esfuerzos no eran estrictamente necesarios.

Para concluir este boceto introductorio, se debe volver al contexto biográfico de Mendeleiev. Había recibido, en 1862, el premio Demidov en Rusia por su primer libro, *Química Orgánica* de 1861. En 1882, se le concede a Mendeleiev y a Meyer la medalla Davy en Inglaterra. En 1889, a los veinte años de la publicación de su Ley y Tabla, se le concede el honor de dictar la Conferencia Faraday ante la Sociedad Real de Química en Londres. Mendeleiev recibe también la

Eka-aluminio. 1875 Galio: Ga. 69,7 [# atómico 31]. Paul Emile Lecoq de Boisbaudran, francés (1838-1912). Intercambio epistolar de gran interés entre el teórico y el descubridor, con Mendeleiev no aceptando algunos de los valores empíricos propuestos, por las razones de la ley periódica, hasta que el experimentador termina afinando sus mediciones y concordando con las predicciones.

Eka-boro. 1879. Escandio: Sc. 44,95 [# atómico, 21]. Lars Fredrick Nilson (1840-1899), descubridor -quien fuera profesor de Química analítica en la Universidad de Upsala. Per Theodor Cleve (1840-1905), interpreta y asocia con el eka-boro el descubrimiento de Nilson. Ambos investigadores son suecos.

Eka-silicio.- 1885. Germanio: Ge. 72,64 [# atómico 32]. Clemens Alexander Winkler (1838-1904), alemán, profesor de Química en la Escuela de Minas de Friburgo.

Medalla Copley de la Real Sociedad de Londres en 1905.

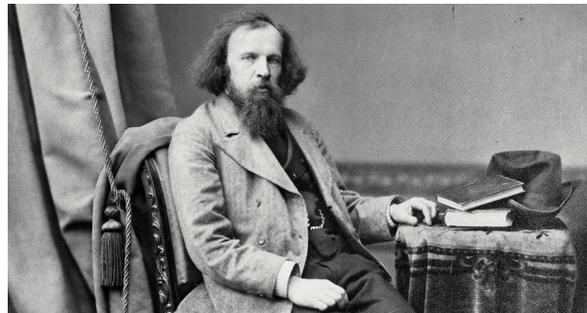
En 1893 fue nombrado Director del Departamento de Pesas y Medidas en San Petesburgo, desde donde introdujo el sistema métrico en Rusia. Se cuenta que en 1906, por un voto, no alcanzó el premio Nobel de Química, ante Moissan, quien habría logrado la separación del flúor, y famoso por sus esfuerzos por fabricar diamantes artificiales. Se dice que se repitió su candidatura para 1907 pero falleció antes de la adjudicación y bien se conoce que no se otorga a fallecidos. Al elemento 101, descubierto en 1955, se le dio el nombre de Mendelevio. Mendelevio (Md) (originalmente conocido como uninilunio, MV), # atómico 101, masa atómica 258, 09. 101 electrones, 101 protones, 157 neutrones. De los actinidos, noveno del grupo de los trasuránidos. 17 de febrero de 1955, Universidad de California, Berkeley. Glen Theodore Seaborg y su grupo: A. Ghiorso, B. Harvey, G. Choppin y S Thompson.

También un cráter lunar y el asteroide 2769 llevan el nombre de Mendeleiev.

Por sus convicciones liberales, a pesar del enorme reconocimiento nacional e

internacional, Mendeleiev no fue nombrado miembro de la Académica de Ciencias de Rusia.

II



2 Mendeleiv

Es importante plantearse la cuestión de los antecedentes del descubrimiento mendeleievano de la Ley Periódica de los Elementos y su Tabla correlativa. Dicha tarea, según la historiografía reciente, supone distinguir dos corrientes de interpretación del problema a resolver. Y por supuesto, evita la consideración del descubrimiento como un simple golpe de genio, por una parte, o el simple efecto de la combinatoria accidentalmente producida por el "solitario" de Mendeleiev, aunque él lo destacara al explicar, posteriormente, su propio descubrimiento.

La *primera corriente* se enmarca en el contexto de la hipótesis de William Prout, a saber, los elementos resultan de múltiplos del peso atómico del hidrógeno tomado como unidad.

En consecuencia, deben ser números enteros. En efecto, William Prout (1785-1850), médico inglés que practicó la química y la fisiología, en 1815, anónimamente, y en 1816 de manera oficial, formuló la hipótesis antes mencionada. Su trabajo se titulaba, "On the relation between the specific gravities of bodies in their gaseous state and the weights of their atoms". Esta idea supone la unidad de la materia a partir de una materia prima. Prout expresa "If the views we have venture to advance be correct, we may almost consider the *prôte úle* of the ancients to be realized in hydrogen". (Crossland, 1992, 271-2). Por otra parte, también se puede suponer que los átomos de los elementos están hechos a partir de bloques de los de hidrógeno. Es decir, se hace eco de las viejas tesis de un elemento primordial que constituye todo lo existente.

Jean Baptiste Dumas (1800-1884), químico francés, asume la hipótesis de Prout en su memoria de 1857, "Memoria sobre los equivalentes de los elementos", con tanto entusiasmo que cuando los resultados empíricos no coinciden con ella, sugiere que los pesos atómicos no concordantes deben ser multiplicados por factores ad hoc como 0.5 y posteriormente 0.25.

Por el contrario, Jean Servais Stas (1813-1891), belga quien fuera estudiante de

Dumas, luego profesor en la Universidad de Bruselas, tuvo gran entusiasmo por dicha hipótesis de Prout, pero, en virtud de su extenso trabajo sobre los pesos atómicos de los elementos, en la primera parte de la década de los sesenta, simplemente llega a considerarla como totalmente incorrecta, como una simple ilusión. Y con ello nos presenta una importante instancia de la metodología científica moderna. La experiencia cuantitativa supera cualquier entusiasmo hipotético inicial.

Johann Dobereiner (1780-1849), químico autodidacta que logra llegar a ser profesor en la Universidad de Jena, en 1829, trabaja sobre ciertas relaciones tipo analogías químicas y relaciones numéricas entre pesos atómicos llegando a establecer tres tríadas de gran interés, a saber: Cloro, Bromo y Yodo; Calcio, Estroncio y Bario; Azufre, Selenio y Teluro. En ellas, el peso atómico del segundo elemento estaba a la mitad de camino entre los otros dos, esto es, son medias aritméticas. Dobereiner conoció a Goethe en Italia y fue su instructor en asuntos químicos. Pero Dubereiner no va más allá de dichas tres tríadas y no se les concedió gran significado

Luego, Leopoldo Gmelin (1788-1853), profesor en la Universidad de Heidelberg, establece en 1839 relaciones entre familias de

elementos, bajo tres criterios: los que tienen casi el mismo peso atómico; los que lo tienen múltiplos entre sí; y los que responden a medias aritméticas como en el caso de Dobereiner.

Alexandre Emile Béguyer De Chancourtois, mineralogista y geólogo francés (1820-1886), nacido y muerto en París, profesor de Geología en la Escuela de Minas de París, comunica a la Academia de Ciencias su propuesta en 1862. Asume la propuesta de Prout: "Es únicamente tomando en consideración la ley de Prout que he llegado a una teoría perfectamente demostrada". Se refiere a la espiral de los elementos o tornillo telúrico, en que se plasmaba de manera gráfica las relaciones entre los elementos, Chancourtois la denomina "vis tellurique" y ofrece dos razones para ello:

"el telurio ocupa un lugar central en el sistema y porque el epíteto "telúrico" evoca acertadamente un origen geognóstico, pues tellus significa tierra en el sentido más positivo, más familiar, en el sentido de la tierra que subviene a las necesidades" (Serres, 1991, 514)

Lamentablemente, no se publicó el gráfico o representación de la clasificación cuando la comunicación apareció en el órgano oficial de la Academia, y ello obviamente afectó su

comprensión y difusión. Además el tono geológico en el lenguaje, no provocó las simpatías de los químicos. En consecuencia, la propuesta se perdió en la ya creciente cantidad de información científica.

En la *segunda corriente*, en un contexto opuesto a Prout, y más en consonancia con la aceptación de la multiplicidad de elementos, como se perfina desde los tiempos de Robert Boyle, siglo XVII, Antoine Laurent Lavoisier, XVIII, y John Dalton, primera mitad del XIX, asimismo en el énfasis en los pesos atómicos, según las propuestas de Cannizzaro en 1860, se tienen esfuerzos dirigidos a producir una representación o tabla de las relaciones entre los elementos. En este contexto destacan, entre otras, las propuestas de Newland, Odling, Meyer, y por supuesto, Mendeleiev.

John Alexander Reina Newland (1837-1898), químico industrial inglés, presenta en 1864 su ley de las octavas. En ella las propiedades químicas se repiten cada siete elementos, como en la escala musical. Invierte el orden de algunos elementos para mantener las relaciones, como en el caso del telurio y el yodo, y prevee la existencia de elementos. Pero no tuvo eco entre sus colegas, los cuales no la tomaron en serio, cuando se presentó ante la Sociedad Química de Londres. Uno de los asistentes inquirió si no se obtendrían los

mismos resultados con la simple ordenación en virtud de la letra inicial de los nombres. De hecho, ni se le publicó el trabajo. Consideraba solamente 51 elementos y muchos de los pesos atómicos son incorrectos. Por cierto, la Real Sociedad de Londres, le otorgó la medalla Davy en 1887 por aquel trabajo no publicado anteriormente, luego del éxito de la Ley y Tabla de Mendeleiev.

William Odling, también inglés, profesor en la Universidad de Oxford, propone una clasificación de 57 elementos de los aproximadamente 60 conocidos en 1865, en la que "entre los miembros de cada grupo bien definido, la secuencia de las propiedades y la secuencia de pesos atómicos son estrictamente paralelas". Odling deja lugares vacíos en su tabla, pero no perfecciona el planteamiento sino más bien lo debilita en los años posteriores.

Julius Lothar Meyer, químico alemán (1830-1895), respondiendo a la necesidad de escribir un texto que ordene la exposición de la Química a los estudiantes en su Universidad de Tubinga, presenta su clasificación inspirado en los pesos atómicos, de manera muy semejante a la de Mendeleiev, y casi con prioridad temporal en su concepción. Vale pena resaltar que Meyer también responde al impacto de las ideas de Cannizzaro en el Congreso Mundial de Química de 1860. Esta influencia del gran

italiano Cannizzaro se manifiesta en su **Modern Chemical Theory** de 1864. Por ejemplo, en 1864, había hecho un primer intento basado en la valencia. No obstante, el planteamiento definitivo, concebido en 1868, por atrasos en la edición de su texto, lo publica en 1870, y aunque deja lugares vacíos no hace predicciones específicas para dichos elementos nuevos.

Finalmente, Dimitri Ivanovich Mendeleiev publica en 1869, como se señaló más arriba, la Ley de la periodicidad de los elementos químicos, y plasma en una Tabla el conjunto de relaciones que ella implica. Pero antes de profundizar en la propuesta del químico ruso, para una mayor inteligencia del asunto se debe destacar en lo que sigue las fuentes del "pluralismo de elementos" referido como rasgo de la segunda corriente o enfoque presentado en esta sección.

III



3 A. L. Lavoisier

La pregunta respecto de qué se entiende por elemento químico en Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) y Robert Boyle (1627-1691) supone una respuesta con varios niveles de análisis temático.

A- En primer lugar, la cuestión del concepto mismo de elemento, tal como aparece en el **Discurso Preliminar al Tratado elemental de química**, publicado en París en 1789. Allí Lavoisier expresa:

"Según mi opinión todo lo que pueda decirse acerca del número y la naturaleza de los elementos, se limita a una discusión puramente metafísica; son problemas indeterminados que intentamos resolver, y que poseen infinitas soluciones, de las cuales es probable que ninguna en particular concuerde con la naturaleza. Me conformaré, pues, con decir que si entendemos por elementos las partículas simples e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que no logremos saber nada acerca de ellos, mientras que si asignamos a la denominación de elementos o principios de las sustancias el concepto del

límite extremo que pueda alcanzar el análisis, lo serán todas las sustancias que hasta el presente no se han podido descomponer por ningún medio. Ello no significa que podamos asegurar que tales cuerpos a los que consideramos como simples, no estén compuestos por dos y aún más elementos sino que ya que esos principios no se separan jamás o, mejor dicho, no poseemos manera alguna de separarlos, se comportan ante nosotros como sustancias simples, y no debemos considerarlos compuestos hasta el momento en que la experiencia y la observación nos lo prueben así." (Halperin, 1967, 95-6)(3³)

Del texto de Lavoisier surgen de inmediato dos temas, a saber:

I- Su relación con el concepto de elemento químico formulado por Robert Boyle, quien lo formuló en los inicios de la década de los sesenta, en el siglo XVII. Boyle escribió, en la sexta parte de su famoso diálogo **El químico escéptico**, de 1661, lo siguiente:

"Para evitar errores, he de advertir que entiendo aquí

³ Se cita a partir del texto antológico de Leticia Halperin Donghi (1967), Lavoisier, Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.

por elementos lo mismo que entienden por sus principios los químicos que se expresan con mayor claridad, ciertos cuerpos primitivos y simples o perfectamente sin mezcla que, al no estar hechos de cualesquiera otros cuerpos o unos de otros, son los ingredientes de los que se componen inmediatamente todos los cuerpos denominados perfectamente mixtos, y en los que últimamente se resuelven. Ahora bien, lo que ahora pongo en tela de juicio es que haya tales cuerpos que se encuentren constantemente en todos y cada uno de aquellos que se consideran cuerpos compuestos de elementos." (Boyle. 1985. 114 En el Químico Escéptico).

Ante esta definición una primera consecuencia es que Boyle define clara y estrictamente el concepto de elemento químico para insistir en la no existencia de los mismos, como consecuencia de su concepción mecánico-corporcularista de la naturaleza, y por ende, de la futura química, por una parte, y de su frontal crítica a las concepciones tradicionalistas, ya fueran de muy viejo linaje, como la teoría escolástico-aristotélica de los Cuatro Elementos -Tierra, Agua, Aire y Fuego-, o mucho más recientes, como la doctrina de Paracelso, siglo XVI, de la TRIA PRIMA, del Mercurio, Azufre y Sal.

En efecto, para Robert Boyle ninguno de estos dos esquemas es suficiente ni coherente en el proceso de comprensión de la naturaleza físico-química. Y su más fuerte objeción consiste en que, aclarado el concepto de elemento, la operación con las sustancias naturales, nos inclina a concluir que nada corresponde a tales elementos o cuerpos últimos y simples.



4 Robert Boyle

No obstante, la conclusión boyleana se refuerza, como se apuntó antes, desde la perspectiva de su atomismo corporcularista, puesto que en ella los corpúsculos -átomos- son los factores reales u ónticos, esto es, últimos, mientras que los elementos vendrían a ser realidades derivadas o intermedias en la comprensión de las cosas.

Una síntesis de la concepción corpuscularista de Boyle se plasma en las siguientes tesis que aparecen en su **Origen de las Formas y Cualidades**.

"1. Que la materia de todos los cuerpos naturales es la misma; a saber, una substancia extensa e impenetrable.

2. Que concordando así todos los cuerpos en la misma materia común, su distinción ha de provenir de esos accidentes que la diversifican.

3. Que el movimiento, al no pertenecer a la esencia de la materia (que conserva su plena naturaleza cuando se halla en reposo) y no siendo originalmente producible por otros accidentes como ellos lo son a partir de él, puede tenerse por el modo o afección primero y principal de la materia.

4. Que el movimiento diversamente determinado divide naturalmente la materia a que pertenece en fragmentos o partes actuales, y la obvia experiencia (sobre todo las operaciones químicas) manifiesta que esta división se ha realizado en partes en extremo diminutas como para ser

aisladamente perceptibles por nuestros sentidos.

5. De ahí ha de seguirse necesariamente que cada una de estas partes diminutas o minima naturalia (así como cualquier cuerpo particular compuesto mediante la coalición de cualquier número de ellas) ha de poseer su magnitud o tamaño determinado, así como su propia forma. Estos tres, a saber, tamaño, forma y movimiento o reposo (no habiendo tercero entre estos dos), son los tres modos o afecciones primarias o más católicas de las partes insensibles de la materia consideradas cada una por su parte". (4^a)

II- El enfoque metodológico de la definición de Lavoisier, para quien sí existen elementos, deja atrás las cuestiones metafísico-doctrinales, y convierte la noción de elemento en el límite extremo que puede alcanzarse mediante las técnicas de análisis. El elemento químico es aquella sustancia que no se ha podido descomponer por algún medio, y que en consecuencia, se declara simple o elemental, mientras que la experiencia y la observación, esto es, las

⁴ Boyle. Origen de las Formas y Cualidades. Traducción al español tomada de Boyle, Robert (1985) Física, Química y Filosofía Mecánica. Introducción,

traducción y notas de Carlos Solís. Madrid: Alianza. Páginas 240-1.

técnicas de laboratorio, no muestren que puede ser descompuesta en otras sustancias más simples. El elemento químico es simple en un sentido contextual -depende de la capacidad de análisis- y no en un sentido absoluto o filosófico. Por ello, Lavoisier afirma:

"La química marcha, pues, hacia su objetivo y su perfección, dividiendo, subdividiendo y volviendo a subdividir, e ignoramos cuál puede ser el término de sus éxitos. Por ello es que no podemos asegurar que lo que consideramos como simple, lo sea en efecto; todo lo que podemos decir es que tal sustancia es el límite al que llega el análisis químico en la actualidad, y que en el estado que han alcanzado nuestros conocimientos, no puede dividirse más." (**Tratado**, II Parte, sección I. Halpering, 1967, 105)

En un desarrollo paralelo de esta actitud metodológica, y en relación estricta con el uso de la balanza en el quehacer experimental, se debe hacer referencia al principio de conservación de la materia, tal como aparece en la primera parte, capítulo 13, del **Tratado elemental de química**. Principio que no se reduce a una simple afirmación ontológico-filosófica, como en la tradición de la filosofía de la naturaleza, por

ejemplo, en el atomismo clásico, sino que supone esa dimensión operacional de la práctica del laboratorio, en especial por la importancia crucial de la balanza. De la importancia de la balanza en las operaciones del "arte", que se asumen corresponden a las relaciones cuantitativas que se pueden establecer por ella, por una parte, y la naturaleza misma, por la otra. Lavoisier se expresa en la forma siguiente:

"..., pues nada se crea ni en las operaciones del arte ni en las de la naturaleza y se puede enunciar como principio que en toda operación hay una misma cantidad de materia antes y después de la misma, que la cualidad y cantidad de los principios es la misma y que no hay más que cambios y modificaciones. ... todo el arte de hacer experiencias en química se basa sobre este principio. Se debe suponer en todas ellas una verdadera igualdad o ecuación entre los principios del cuerpo que se examina y aquellos que se obtienen por el análisis" (**Tratado**. Cap. XIII. Halpering. 1967. 22).

En el caso del estudio de las sustancias simples, se desprende que el elemento para Lavoisier es simple pero no elemental, es decir, último y absoluto factor de lo real. El elemento lo es metodológicamente,

operacionalmente, pero los desarrollos de las técnicas de análisis pueden develar que es compuesto, no elemental. Cabe preguntarse por qué llamarlo elemento si no es elemental. Dado que Lavoisier mantiene el término, ello es paradójico. Y lo es aún más por ser Lavoisier uno de los principales gestores de la reforma radical de la nomenclatura química en la que juega un papel tan central la noción de elemento (5⁵).

De hecho, Lavoisier ofrece una lista de treinta y tres elementos químicos divididos en cuatro grupos, a saber: 1- sustancias simples que pertenecen a los tres reinos, y que pueden considerarse como los elementos de los cuerpos: Luz, Calórico, Oxígeno, Azo (nitrógeno) e Hidrógeno. 2- sustancias simples no metálicas, oxidables y acidificables: Azufre, Fósforo, Carbono, Radical muriático, Radical fluórico, Radical borácico. 3- sustancias simples metálicas, oxidables y acidificables: Antimonio, Plata, Arsénico, Bismuto, Cobalto, Cobre, Estaño, Hierro, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Oro, Platino, Plomo, Tugsteno, Cinc. 4- sustancias simples, salificables, terrosas: Cal, Magnesia, Barita, Alúmina, Sílice-

Pero de dicha lista, los dos primeros no son elementos químicos, a saber, la luz y el calórico. Los tres radicales son compuestos pero que no han podido ser descompuestos por las técnicas de laboratorio hasta ese momento. Lavoisier confía que lo serán en el futuro próximo.

El pie de la tabla de esos treinta y tres elementos es suficientemente clara. “Observaciones de la tabla de las sustancias simples o al menos de aquellas que, en el estado actual de nuestros conocimientos, debemos reconocer como tales” (Halperin, 1967. 103-104)

Además, en los años subsiguientes, la lista de elementos químicos sigue creciendo en número dado el enriquecimiento de las técnicas de análisis y multiplicación de las investigaciones. Por ello, para la década de 1860 se cuentan 63 elementos y sobre ellos trabajan los teóricos antes mencionados, Odling, Newland, Meyer y Mendeleiev.

⁵ Estas consideraciones se respaldan en dos estudios previos de mi autoría, a saber, “Lavoisier y el trasfondo de la terminología química”. CORIS. Revista del Círculo de Cartago. #1. 1997. Y “Robert

Boyle y el Químico escéptico. Una crítica al elementalismo”. Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica. Vol XXXVI, # 88-89. Enero-diciembre, 1998.

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

		Tl = 50	Zr = 90	? = 180,	
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.	
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198	
		Ni = 59	Pd = 106,6	Os = 199.	
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200	
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	U = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. МЕНДЕЛѢЕВЪ

La Ley Periódica y la Tabla Periódica.

Para Mendeleiev lo fundamental fue el descubrimiento de una ley absoluta de periodicidad que rige el comportamiento de los elementos, que a su vez son considerados como el datum fundamental. El no participa de la concepción reduccionista de Prout, que buscaba una construcción o reducción de los elementos a un nivel básico, v.gr., el hidrógeno. En consecuencia, no busca simplemente encontrar algunas relaciones aritméticas que armonicen las relaciones entre los elementos. Por el contrario, Mendeleiev

asume la fundamental pluralidad de los elementos, y busca una ley que exprese sus relaciones de periodicidad. Relaciones a partir de la multiplicidad.

A esta situación se le puede dar un sentido dramático, como lo hace Mendeleiev en el siguiente texto:

"Kant creía que en el universo existen dos objetos que provocan la admiración y veneración de los hombres: "la ley moral en nuestro interior y el cielo estelar por encima de nosotros" Profundizando en la naturaleza de los elementos y en la ley periódica, cabe añadir un tercer objeto: "la naturaleza de los individuos elementales que se expresa por todo nuestro alrededor", teniendo en cuenta que sin esos individuos no podríamos imaginarnos el cielo estelar y que la noción de átomo revela tanto la singularidad de las individualidades como la reiteración infinita de los individuos y su sometimiento al orden armónico de la naturaleza." (Serres, 1991. 515-6).

La clave de esta ley radica en el énfasis puesto sobre los pesos atómicos de los elementos. Ahora bien, este destacar los pesos atómicos puede relacionarse con la crucial importancia, según el mismo descubridor, del Primer Congreso Internacional de Química,

convocado por Auguste Kekulé (1829-1896), Carl Weltzer y Wurtz, y reunido en Karlsruhe, Alemania, del tres al cinco de septiembre de 1860. Contó con 127 científicos, principalmente de Europa, además de un mexicano.

De manera más específica, en el Congreso, con los esfuerzos de Stanislao Cannizzaro (1826-1910), para centrar la discusión química en torno a la hipótesis de Avogadro, no solamente como evidencia del atomismo de Dalton, en una versión ampliada, sino como instrumento para liberar a la ciencia Química de las confusiones y ambigüedades engendradas por la distinción entre peso atómico y peso molecular, pesos equivalentes, y la manera de determinar los pesos atómicos, y con base en ello, las fórmulas de los compuestos. Como justificación de todo lo anterior, Cannizzaro entregó el último día de sesiones un breve documento escrito en italiano, titulado *Sunto di un corso di filosofia chemica* (Compendio de un curso de filosofía química), publicado por la Academia del Cimento en 1858, y luego en Pisa y Roma, en 1859 y 1880 respectivamente. Meyer posteriormente lo traducirá al alemán a partir del documento recibido en el Congreso de Karlsruhe. Su reacción se recoge por parte José Luis de los Ríos, en su libro *Químicos y Química de la siguiente forma* “Fue como si la venda se me cayera de los ojos; las dudas se

desvanecieron y un sentimiento de certeza y tranquilidad quedó en su lugar” (De los Ríos. 2011, 218.)

Por supuesto que el Congreso no produjo un consenso definitivo, pero para muchos de sus participantes, quedó claro que la propuesta de Cannizzaro implicaba un punto de vista muy fecundo e interesante. Entre estos convencidos, para los efectos de este trabajo, destacan los casos de Odling, Meyer y Mendeleiev.

La primacía de la Ley Periódica, respecto de la Tabla, es manifiesta en la siguiente afirmación de Mendeleiev:

“Sin la ley periódica no tendríamos ninguna razón para predecir las propiedades de los elementos desconocidos, incluso no podríamos hablar de la falta o la ausencia de uno u otro de ellos. El descubrimiento de los elementos fue sólo un hecho de observación. Y por eso mismo sólo casualidad, la perspicacia y el espíritu de observación particulares condujeron al descubrimiento de los nuevos elementos... La ley de periodicidad en este sentido... abre un nuevo camino”. [Trífonov & Trífonov, 1984, 173].

Mendeleiev sostiene un fuerte concepto de ley natural, que debe ser general, esto sin excepciones, o no ser ley general o natural:

"Las leyes naturales no presentan excepciones y ello precisamente las distingue de reglas como las gramaticales, por ejemplo, una ley sólo puede confirmarse cuando todas las posibles consecuencias han sido sancionadas experimentalmente" (Serres. 1991, 515).

Ahora bien, también se hace necesario establecer, según Mendeleiev, una cuestión fundamental dirigida a resolver ambigüedades cruciales en la ciencia de la Química.

"Las propiedades de los cuerpos simples y compuestos dependen de una función periódica de los pesos atómicos de los elementos por la sola razón de que estas mismas propiedades son las de los elementos de que se derivan estos cuerpos" (Serres, 1981, 516)

Por supuesto, para Mendeleiev esta ley periódica entronca con los fundamentos últimos de la ciencia moderna, con su énfasis en las leyes mecánicas.

"La ley periódica posee los hechos y tiende a profundizar en el principio filosófico que preside la naturaleza misteriosa de los elementos. Esta tendencia pertenece a la

misma categoría que la ley de Prout, con la diferencia esencial de que la ley de Prout es aritmética y el espíritu de la ley periódica emana de una secuencia de leyes mecánicas y filosóficas que conforman el carácter y el esplendor del impulso actual de las ciencias exactas" (Serres. 1991, 515)

En consecuencia, es importante tomar en cuenta que la tabla periódica es simplemente una manera de plasmar la ley de la periodicidad, y por ello, él mismo ofrece varias formas de la misma en las siguientes publicaciones. La tabla no es lo esencial ni lo que se debe buscar en una forma única o definitiva en el sentido de una versión gráfica.

Como síntesis final respecto de la Ley Periódica no hay nada mejor que repetir las ocho ideas fundamentales, según la enumeración del mismo Mendeleiev, no solamente fueron planteadas en 1869, sino que por seguir siendo tan válidas, las reitera 20 años después, en su exposición en la Conferencia Faraday, 1889, ante la Sociedad de Química en Inglaterra. Estas ocho ideas son: 1- Si se clasifican los elementos según sus pesos atómicos exhiben una evidente periodicidad en sus propiedades; 2- Los elementos cuyas propiedades químicas son parecidas poseen pesos atómicos similares

o que varían en una proporción regular; 3- La ordenación de los elementos o de los grupos de elementos según sus pesos atómicos va en concordancia con sus valencias; 4- Los elementos más difundidos en la naturaleza tienen pesos atómicos bajos; 5- La magnitud del peso atómico determina el carácter de un elemento así como la magnitud de la molécula determina el carácter del compuesto; 6- Debemos esperar el descubrimiento de muchos elementos desconocidos; 7-En ciertas ocasiones puede corregirse el peso atómico de un elemento en virtud de los pesos atómicos de los elementos adyacentes; 8- Se pueden predecir ciertas propiedades características a partir de sus pesos atómicos. (Tomado de Berry, 1947, 28).

Es interesante apuntar que el convencimiento de Mendeleiev en su Ley Periódica es tal que no la consideró más un campo estrictamente abierto a sus posteriores esfuerzos, excepto en el sentido de seguir los casos de confirmación y proponer, en virtud de las subsiguientes ediciones de su texto de **QUÍMICA GENERAL**, una mayor explicitación del tratamiento de las tierras raras, por ejemplo. Por ello, nunca modificó el texto original de su gran libro, sino se limitó a añadir notas aclaratorias que ampliaran, aclararan, o polemizaran sobre desarrollos posteriores generados por otros autores, pero no realmente por su propio

esfuerzo. En efecto, según él, la cuestión en principio ya había sido resuelta. Mayores esfuerzos no eran estrictamente necesarios.

Obviamente se presentan algunos problemas con elementos nuevos, como los gases nobles, o las tierras raras. Se les incorporará a la tabla y estos nuevos elementos también presentan periodicidades. También la física proporciona nuevos y cruciales desarrollos, y para citar solamente unos pocos, rayos X, el electrón y otros componentes del átomo, la radiactividad. Pero la solución final yace en el futuro y su nueva clave: los números atómicos.

Por supuesto, el peso atómico no era la clave de la periodicidad sino el número atómico. Pero ello dependía de la nueva visión de la estructura interna del átomo. Ello se desarrolla paralelo a los últimos años de Mendeleiev, que muere en 1907, como se estableció antes.

Henry Gwyn Jeffreys Moseley (23 noviembre 1887- 10 agosto 1915 en la Batalla de Galipoli, Turquía), físico químico inglés, muerto en la Primera Guerra Mundial hizo el aporte fundamental para el replanteo de la tabla periódica y su correlativa periodicidad de los elementos. Moseley trabajó a partir de su

descubrimiento en 1914 que la longitud de onda de los rayos X de un elemento estaba en relación a su número atómico: The High Frequency Spectra of the Elements”

BIBLIOGRAFÍA.

Asimov, Isaac. 1993. **Breve Historia de la Química.** México: Alianza Editorial.

Berry, A.J. 1947. **La Química Moderna.** México: F.C.E.

Berry, A.J. 1968. **From Classical to Modern Chemistry.** New York: Dover.

Born, Max. 1960. **El inquieto Universo.** Buenos Aires: Eudeba.

Boyle, Roberto. 1885. **Origen de las Formas y Cualidades.** En Boyle, Robert (1985) **Física, Química y Filosofía Mecánica.** Introducción, traducción y notas de Carlos Solís. Madrid: Alianza.

Crosland, Maurice. 1992. **The Science of Matter.** Philadelphia: Gordon and Breach Science Publishers.

De los Ríos, José Luis. 2011. **Químicos y Química.** México, FCE.

Farber, Edward (Ed.) 1961. **Great Chemists.** New York: Interscience Publishers.

Halperin Donghi, Leticia. (1967), **Lavoisier,** Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.

Inglis, Stuart J. 1970. **Physics: anebb and flow of ideas.** N.Y.: John Wiley & Sons.

Lagemann, Robert T. 1968. **Ciencia Física. Orígenes y Principios.** México: UTEHA.

Lemon, Harvey Brace. 1961. **From Galileo to the Nuclear Age.** Chicago: The University of Chicago Press.

Nechaev, I. 1948. **Los Elementos Químicos.** Buenos Aires: Editorial Sudamericana.

Partington, J. R. **A Short History of Chemistry.**

Radvanyi, P., Bordry, M. 1989. **La Radiactividad Artificial.** Barcelona: Salvat.

Segre, Emilio. 1980. **From X-rays to Quarks.** N.Y.: W.H. FREEMAN.

Serres, Michel (ed). 1991. **Historia de las Ciencias.** Madrid: Ed. Cátedra.

Trífonov & Trífonov. 1984. **¿Cómo fueron descubiertos los elementos químicos?.** Moscú: Ed. Mir.

Wolff, Peter. 1967. **Breakthroughs in Chemistry.** New York. The New American Library.