

Nota de interés histórico

Dmitriy Ivanovich Mendeleev: Una figura que trasciende a su Tabla Periódica y a la Química toda

Por Osvaldo Cámara.

Departamento de Fisicoquímica, Facultad de Ciencias Químicas, UNC – Instituto de Investigaciones en Físico-Química de Córdoba, INFIQC – CONICET/UNC.

Cuando iniciamos los estudios de química en el colegio secundario de nuestro sistema educativo pronto nos encontramos con la “Tabla Periódica de Mendeleev”, una cartilla donde están ubicados todos los elementos químicos, formando filas y columnas y sectores de colores diferentes y muy atractivos, cada uno con un nombre particular: los elementos representativos, los elementos de transición, los elementos de transición interna y los gases nobles. Luego vamos conociendo que dentro de cada casilla no solo está el símbolo químico de cada elemento, sino también su nombre, su masa atómica y número atómico. En algunas tablas muy completas cada elemento tiene otras informaciones adicionales, y a ella recurrimos cuando necesitamos conocer la “valencia” de un elemento para escribir la fórmula de algún compuesto, indicar el número de protones y neutrones presentes en su núcleo, o tal vez la saber la densidad del elemento puro. Pero es cuando abordamos el estudio de un curso de química de nivel universitario cuando comenzamos a comprender el significado “oculto” en la ubicación de los elementos dentro de una misma columna (o “grupo”) o de una misma fila (o “período”), y de cómo esta posición indica las características químicas de ese elemento, de qué modo se combinará con otros elementos, qué tipo de enlazamiento tendrá y que clase de sustancia compuesta dará como resultado. El nombre de su creador, Dmitriy Mendeleev, o Mendeleev a secas, va absolutamente asociado a esta cartilla, y desde allí nos queda como algo familiar para el resto de nuestra vida.

Sin embargo, la Tabla Periódica de los Elementos Químicos que formuló Dmitriy Mendeleev en el año 1869, y que estamos celebrando en este año 2019 su 150 aniversario, ha quedado muy distante del formato que vemos actualmente. La razón más importante de ello

es que al momento de su formulación, Mendeleev y sus colegas conocían solo 63 elementos de los 118 que hoy se conocen, de los cuales solo 89 se encuentran en la naturaleza que nos rodea y los restantes 29 fueron creados artificialmente en enormes y muy costosas instalaciones de investigación en física de las partículas subatómicas. Sin embargo la idea inicial del ordenamiento propuesto por Mendeleev no se ha modificado en lo sustancial, tan solo se ha cambiado el ordenamiento en base a la masa atómica por el ordenamiento en base al número atómico, aunque esto resultó diferente para unos muy pocos casos de excepción entre todos los elementos. La existencia de muchos más elementos conocidos en la actualidad, junto con modernas teorías sobre la estructura interna del átomo, han conducido a organizar una estructura de bloques o sectores diferenciados que hubiera sido impensada para la época de Mendeleev y sus colegas, particularmente porque en aquella época aún no se había comenzado a formular modelo alguno de la estructura del átomo. Ni siquiera se conocía la existencia del electrón, aunque si se conocía muy bien la corriente eléctrica y como producirla mediante métodos “químicos” (en realidad electroquímicos, inicialmente con la pila de Volta, en 1800, y más tarde con diversas celdas galvánicas).

Al adentrarnos en la vida y los trabajos de investigación de este científico, descubrimos que su Tabla Periódica es tan solo una parte muy pequeña del legado que dejó a la sociedad de su época y a las generaciones posteriores, y su figura toma una dimensión impensada, propia de los grandes personajes de nuestra historia. Todo eso está “escondido” detrás de la cartilla que usábamos en nuestro colegio secundario cuando el profesor de química nos pedía que escribiéramos el peso molecular del ácido sulfúrico.

El siguiente es un texto de carácter cronológico, cuya intención es tan solo la de reconocer la personalidad y obra de este científico, y la influencia que tuvo en el desarrollo de la química moderna.

Etapas inicial de la vida de Mendeleev

Dmitriy Ivanovich Mendeleev (o Mitienka, como lo llamaban sus amigos) nació el 8 de Febrero de 1834 en un poblado cercano a Tobolsk, en la zona central de Siberia, Rusia. Su padre, Ivan Pavlovich Mendeleev, era maestro de escuela, y su madre, Maria Dmitrievna Kornilyeva (luego Mendeleeva), provenía de una familia de comerciantes y editores, que a su

vez fue la propietaria de la primera fábrica de vidrio de Siberia. Fue el menor de 17 hermanos, tres de ellos no vivieron lo suficiente como para ser bautizados, y otros cinco fallecieron durante la niñez, lo que da una idea clara de las duras condiciones de vida en aquellos lugares. Su educación primaria la cursó en el Gymnasium (o Liceo) de Tobolsk entre 1841 y 1849, donde ingresó un año antes de lo permitido, y por lo tanto debió hacer el primer año de estudio dos veces. Sin embargo, finalizó un año antes de lo establecido, a los 15 años. Sus maestros lo debieron anotar como de 16 años de edad para evitar problemas administrativos. Se destacó en ciencias naturales pero no tanto en lenguaje. Finalizados los estudios iniciales, la madre de Dmitriy deseaba que tuviera una mejor formación, y para ello lo llevó a Moscú (distante unos 1.900 km) junto con su hermana Elizabeth, con la intención de que continuara estudiando en una institución de mayor jerarquía. La Universidad de Moscú no lo aceptó por cuestiones administrativas de jurisdicción, ya que debía asistir a la Universidad más próxima a su lugar de residencia, por lo que su madre lo lleva a San Petersburgo (por entonces capital de la Rusia Imperial), donde la Universidad lo rechaza por el mismo motivo. María consigue que lo acepten en el Instituto Pedagógico de San Petersburgo, donde había estudiado el padre de Dmitriy, gracias al apoyo de un amigo y profesor en esa institución. Si bien en su examen de admisión no fue excelente, la calificación que obtuvo le permitió obtener una beca y el alojamiento en la residencia del Instituto. Esto le significó la obligación de cumplir, luego de su egreso, con el servicio de enseñar durante dos años por cada año de estudio. Cursó sus estudios de segundo nivel entre 1850 y 1855, egresando con el título de Maestro a los 21 años de edad. Sus comienzos como estudiante fueron marcados por la tragedia familiar, ya que en ese mismo año fallece su madre de tuberculosis, poco tiempo después su tío Vasiliy en Moscú (1851), y más tarde su hermana mayor Liza, también de tuberculosis (1852). Dmitriy mismo enferma seriamente de tuberculosis, tosiendo con sangre y al punto de que los médicos no le dieron en aquel momento más de dos años de expectativa de vida. Durante esa etapa pasó mucho tiempo internado en un hospital, donde de todos modos continuó estudiando con la ayuda de sus profesores y compañeros, y retornó al Instituto Pedagógico de San Petersburgo a tiempo para presentar sus exámenes finales y graduarse, recibiendo los aplausos de sus compañeros estudiantes. Su desempeño como estudiante comenzó con un pobre rendimiento, en su primer año era el 25to. de 28 estudiantes, sin embargo a pesar de su mala salud alcanzó el 7mo. lugar el año previo a finalizar y egresó en 1855 recibiendo la medalla de oro a la excelencia. Los temas de investigación de Mendeleev

en esta etapa de estudiante fueron muy amplios y diferentes, abarcando diversos aspectos, además de la química. Entre ellos figuran “La educación primaria en China”, “Roedores en la Región de San Petersburgo”, “La influencia del calor en la propagación de los animales”, “Plantas antiguas”, “Análisis inorgánico de umber” (un pigmento mineral natural de color marrón rojizo que contiene óxido de hierro y óxido de manganeso) y “Análisis de Piroxeno”. Uno de los supervisores de sus investigaciones fue el Prof. A. Voskresensky, quién fuera discípulo del renombrado químico alemán Justus von Liebig en los años 1830s y conocido en la historia científica de Rusia como “el abuelo de la química rusa”.

Las autoridades del Instituto quedaron tan fuertemente impresionadas por los conocimientos demostrados en sus exámenes finales que le ofrecieron continuar con su formación para el grado de Magister. Sin embargo, Mendeleev se trasladó a Sinferopol, cerca de la ciudad de Odessa, a orillas del Mar Negro y a 1.500 km de San Petersburgo, para aprovechar su clima benigno y así recuperarse de su mala salud. Mientras enseñaba matemáticas y ciencias naturales en el famoso Liceo Richelieu (anteriormente un colegio Jesuita que disponía de una excelente biblioteca), continúa sus estudios para su tesis de Magister sobre el tema de isomorfismo. En 1856 regresa a San Petersburgo, pero el Instituto de Pedagogía es cerrado temporalmente poco tiempo después, por lo que presenta su Tesis de Magister sobre los temas de isomorfismo y volúmenes específicos de diversas sustancias en la Universidad Imperial de San Petersburgo. El 9 de Setiembre de 1856 obtiene su grado de Magister, y el 21 de Octubre del mismo año presenta y defiende su segunda tesis de Magister sobre la estructura de compuestos de sílica, requisito que resultaba necesario para obtener una posición docente. Al siguiente año (1857) y a los 23 años de edad, es contratado como docente privado en la Universidad de San Petersburgo, aunque sin un salario fijo. Comienza a dar conferencias sobre historia de la química y luego química orgánica, y ha supervisado el trabajo de laboratorio de estudiantes de grado. Como su salario era escaso, se gana la vida escribiendo breves informes populares sobre ciencias naturales para una publicación periódica del Ministerio de Educación y dando clases privadas.

Comienzo de su carrera científica

A finales de 1858 las autoridades de la Universidad deciden enviar a Mendeleev al extranjero y le otorgan una beca de 22 meses para que continúe y mejore su formación académica en ciencias. Durante los dos primeros meses de su beca recorre una docena de

universidades europeas, visitando a químicos relevantes de la época tales como Marcellin Berthelot, Charles Wurtz y Jean Baptiste Dumas en París, y Justus von Liebig en Munich. Toma la decisión final de estudiar en la Universidad de Heidelberg, Alemania, donde trabajaban los Profesores Robert Bunsen, Emil Erlenmeyer y Gustav Kirchhoff. En aquella época Heidelberg tenía una gran comunidad de estudiantes rusos (alrededor del 10% del total) y Mendeleev hizo amistad con el químico Aleksandr Borodin (quien fue posteriormente más reconocido como compositor musical, autor de la obra "Príncipe Igor") y el químico Nicolai Zinin, entre otros. Para realizar sus investigaciones tuvo que fabricar numerosos equipos y aparatos de laboratorio. Durante sus estudios de mediciones de volúmenes específicos de algunas sustancias (esto es, el peso molecular dividido por la densidad) inventó un picnómetro muy preciso para medir la densidad de líquidos, que lleva su nombre. Como la densidad de una sustancia depende de la temperatura, Mendeleev tuvo que realizar numerosas mediciones a diferentes temperaturas. En una ocasión, al calentar un líquido dentro de un tubo capilar sellado, hizo su primer descubrimiento importante: cada sustancia tenía un valor de temperatura particular donde la fase líquida se hacía indistinguible de la fase vapor. A esta temperatura la llamó "punto de ebullición absoluto" (de dicha sustancia) pero más tarde tomaría el nombre de "temperatura crítica", un término muy conocido hoy para quienes estudian química física.

En esa época, se realiza en Karlsruhe, Alemania, el Primer Congreso de Química (el 3 de Setiembre de 1860) donde Mendeleev asiste junto con otros cinco compañeros químicos rusos. En esa oportunidad, químicos tales como Kekulé, Dumas, Bayer y Cannizaro, entre otros, estaban discutiendo y decidiendo sobre las nuevas definiciones de los términos "equivalente", "átomo" y "molécula", y comenzando a organizar entre otras cosas, la nomenclatura moderna de la química. De particular importancia para las posteriores investigaciones de Mendeleev fue la conversación mantenida con Cannizaro sobre la necesidad de mejoras en la determinación de los valores de los pesos atómicos de los elementos, que hasta ese momento eran conocidos poco más de 60.

Mendeleev intentó prolongar sus estudios en Heidelberg luego de finalizada su beca pero las autoridades del Ministerio ruso rechazaron su pedido y debió regresar a San Petersburgo a principios de 1861, en un momento de fuertes cambios y reformas políticas impulsadas por el Zar Alejandro II. El Instituto Pedagógico había sido cerrado en forma permanente y poco después lo hizo temporalmente la Universidad de San Petersburgo, donde trabajaba

contratado como docente privado. Para mantenerse comenzó a dar algunas clases particulares y en algunas escuelas de nivel secundario, dictando un curso de química en el Cuerpo de Ingenieros Ferroviarios, un curso de física en la Escuela de Ingeniería, y cursos de química y geografía en el Cuerpo de Artillería. A la semana de haber regresado a Rusia (con 27 años de edad) comenzó a escribir un manual ("handbook") sobre Química Orgánica, el cual completó en tan solo cuatro meses. El propósito de tal apuro era el de tener listo su libro para presentarlo al prestigioso Premio Demidov, otorgado a los escritos y textos de excelencia. Además de la importancia académica que representaba, el premio consistía también en una suma de dinero. Si bien no fue una compilación completa de los aspectos conocidos en la química orgánica para esa época, contenía algunas ideas originales tales como la clasificación de los hidrocarburos de acuerdo a su composición. El libro de 500 páginas fue muy popular y se convirtió en el primer manual ruso de química orgánica. La primera edición se vendió rápidamente y enseguida se imprimió una segunda edición. Su libro finalmente obtuvo el Premio Demidov y la importante suma de dinero recibida le permitió saldar todas sus deudas, que eran considerables. En parte gracias a este premio, pero también debido a la insistencia permanente de su hermana mayor Olga de que necesitaba una esposa, en Abril de 1862 (a los 28 años) se casa con Feozva Leschova, nuera del poeta ruso P. Ershov, quien fuera director del Liceo de Tobolsken en los años 1850s cuando Mendeleev había cursado sus estudios iniciales.

En esta época acepta el trabajo de traducir al ruso el reconocido libro alemán "Tecnología" de J. R. Wagner. Se interesa mucho en esta tarea y rápidamente pasa del simple rol de traductor al de ser autor de algunos capítulos adicionales sobre las industrias del Almidón, Azúcar, Alcohol y Vidrio. El libro se publica en 1862 como una Enciclopedia Técnica de cuatro volúmenes. Aquí comienza el fuerte interés de Mendeleev por la tecnología y la industria, trabajando entre otras cosas en la optimización del funcionamiento de una destilería en la región de Novgorod y de una refinería de petróleo en el Cáucaso. Con todas estas actividades gana una gran reputación como tecnólogo y consigue una posición docente en la cátedra de Tecnología de la Universidad, pero lo más importante de todo, consigue el reconocimiento de ser aceptado como Profesor en el Instituto de Tecnología Práctica de San Petersburgo, aun cuando todavía no había obtenido su grado de Doctor. Durante este período se desempeña también como consultor técnico de Ministerio de Finanzas ruso, que aplicaba impuestos en la producción de alcohol y por lo tanto necesitaba de mejores métodos e instrumentos para la determinación de la concentración de soluciones de etanol (entre ellas, en el vodka). Gracias a

su capítulo en el libro ya mencionado y a la invención de su picnómetro (en Heidelberg) es contratado con una remuneración que incluía dos barriles de alcohol etanol altamente purificado. Inmediatamente comienza a estudiar la variación con la temperatura de la densidad y el volumen de soluciones de etanol-agua de diferentes composiciones, aspectos fundamentales a la físico-química de líquidos y soluciones, temas que le habían interesado desde sus comienzos y que más tarde completaría con su “teoría química” de las soluciones. Este trabajo fue el tema de su tesis doctoral: “Sobre los compuestos de alcohol y agua”, obteniendo el grado de Doctor (PhD) por la Universidad de San Petersburgo el 31 de Enero de 1865, a los 34 años de edad.

Inmediatamente se convirtió en Profesor Extraordinario y luego recibe la posición de Profesor de Química Técnica en la Universidad (que desempeñaría hasta 1890), por lo que en 1866 deja el cargo de profesor del Instituto Técnico. Gracias a estas importantes posiciones, Mendeleev pudo comprar una casa en el poblado de Boblovo, cercano a Klin, en la región de Moscú, donde su familia comenzó a pasar las temporadas de verano. Allí construyó una nueva casa con un laboratorio y retomó su interés en los aspectos de la agricultura, aplicando ideas modernas de agroquímica sobre el uso de fertilizantes, en especial los compuestos químicos de fósforo recomendados por Liebig. Con estos objetivos, realizó trabajos de campos experimentales y en una granja de Boblovo. Con una conferencia sobre temas de agricultura se convirtió en miembro de la Sociedad Económica Libre Imperial, recibiendo su apoyo en los trabajos experimentales en Boblovo. Tan solo en dos años obtuvo importantes mejoras en la calidad de sus suelos y rendimientos de sus cultivos.

Camino a la formulación de la Tabla Periódica

En el año 1867, el Prof. Voskresensky (tutor de Mendeleev en sus estudios iniciales en el Instituto de Pedagogía) deja su posición en la Universidad de San Petersburgo y le ofrece esta vacante a Mendeleev, quien la acepta y pasa a desempeñarse como Profesor de Química Pura. Su tarea consistía en enseñar un curso de química inorgánica, un tema relativamente nuevo para él. Con sorpresa observa que no hay un libro adecuado para recomendar a sus alumnos y decide escribir su propio texto, que se transforma en el famoso libro “Fundamentos de Química” de dos volúmenes, que alcanza a tener trece ediciones posteriores y se traduce al alemán, inglés y francés. Sin dudas, los trabajos sobre este libro, y los agregados y mejoras que hacía en cada nueva edición, fueron el motivo del nacimiento y

desarrollo de las ideas sobre un comportamiento periódico de las propiedades de los elementos y la formulación del sistema Periódico.

En el libro “Fundamentos de Química”, Mendeleev comenzaba con un capítulo sobre los elementos más comunes, denominados en ese momento “organógenos”: hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno, y sus combinaciones. La planificación de los siguientes capítulos resultaba obvia para la época: los elementos halógenos, alcalinos y alcalinos térreos. Sin embargo la organización de los siguientes capítulos era más complicada ya que no se conocía cómo ordenar y organizar a los elementos más pesados tales como azufre, fósforo, estaño, plomo, hierro, cobre, oro o plata, para mencionar tan solo unos pocos. Motivado por el interés de no establecer un orden arbitrario, Mendeleev notó algunos patrones en las propiedades de varios grupos de elementos livianos al organizarlos en función del aumento de sus pesos atómicos, y encontró que podía organizar a los elementos en como “grupos con características similares” (columnas) y “períodos con cambios paulatinos en las propiedades” (filas). La disposición de algunos pocos de los elementos más conocidos por aquel momento tomó la siguiente forma de tabla, de acuerdo a sus masas atómicas crecientes:

Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19
Na=23	Mg=24	Al=27,4	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5
K=39	Ca=40		Ti=50	V=51		

Mendeleev consideró que este comportamiento también podía aplicarse para ordenar los elementos más pesados. Mendeleev mismo escribió: “*Li, Na, K y Ag se relacionan entre sí como C, Si, Ti y Sn; o como N, P, V y Sb*”. El conflicto surgía por la existencia de tríadas como la de Fe-Co-Ni, donde los elementos tenían pesos atómicos y propiedades similares, con los elementos de tierras raras (como los por entonces conocidos cerio, torio y uranio) o con datos de pesos atómicos “dudosos” o incorrectos.

Unos pocos años antes, en 1866, Newlands había publicado una relación de los elementos titulada “Ley de las octavas”, en una clara alusión a la similitud que observaba con las notas musicales. Las ideas de Mendeleev eran similares pero tenía más datos y consideraba que Newlands no había profundizado demasiado sus investigaciones. Para 1869 había reunido descripciones detalladas de más de 60 elementos, y el 1ero. de Marzo de ese año Mendeleev

imprime el primer borrador de su Tabla Periódica con todos los 63 elementos conocidos al momento, dejando espacios en blanco para valores de masas atómicas que no correspondían a elementos conocidos, tales como los valores 68 y 70.

Finalmente, el 6 de marzo de 1869, se realizó la presentación formal ante la Sociedad Química Rusa de su trabajo titulado *"La dependencia entre las propiedades de los pesos atómicos de los elementos"*. Lamentablemente, Mendeleev enfermó y la presentación fue desarrollada por su colega, el profesor Menshutken.

Los ocho puntos de su presentación fueron los siguientes:

- 1- Los elementos, si están organizados de acuerdo con sus pesos atómicos, exhiben una aparente periodicidad de propiedades.
- 2- Los elementos que son similares en cuanto a sus propiedades químicas tienen pesos atómicos que son o bien casi del mismo valor (por ejemplo, Pt, Ir, Os) o bien aumentan regularmente (por ejemplo, K, Ru, Cs).
- 3- La disposición de los elementos, o de grupos de elementos en el orden de sus pesos atómicos, corresponde a sus denominadas valencias, así como, en cierta medida, a sus propiedades químicas distintivas; como es evidente entre otras series, en la de Li, Be, Ba, C, N, O y Sn.
- 4- Los elementos que están más ampliamente difundidos tienen pesos atómicos pequeños.
- 5- La magnitud del peso atómico determina el carácter del elemento, del mismo modo en que la magnitud de la molécula determina el carácter de un cuerpo compuesto.
- 6- Debemos esperar el descubrimiento de muchos elementos aún desconocidos, por ejemplo, elementos análogos al aluminio y al silicio, cuyo peso atómico estaría entre 65 y 75.
- 7- El peso atómico de un elemento puede a veces ser modificado por el conocimiento de aquellos de sus elementos contiguos. Por lo tanto, el peso atómico del telurio debe estar entre 123 y 126, y no puede ser 128.
- 8- Ciertas propiedades características de los elementos pueden predecirse a partir de sus pesos atómicos.

Inmediatamente, el 13 de Marzo, imprime 150 copias en ruso y 50 en francés de esta pequeña versión de tabla y se la envía a muchos de sus colegas en Rusia y resto de Europa.

Es interesante comentar que en los años 1860s los químicos rusos no estaban agrupados en una organización oficial, como ocurría en Inglaterra con la Royal Chemical Society o en Alemania con la Gesellschaft Deutscher Chemiker, y tampoco tenían una publicación periódica. En Octubre de 1868, Mendeleev y algunos colegas fundan la Sociedad Química

Rusa, que obtiene el reconocimiento oficial del gobierno imperial del Zar y es la primera en recibir el trabajo con las ideas de propiedades periódicas de Mendeleev, tan solo cuatro meses después de su creación. Esta institución más tarde pasaría a llamarse Sociedad Química Mendeleev.

Existen dos versiones del modo en cómo ocurrió el “descubrimiento” de la Tabla Periódica: que la visualizó en un sueño o que la construyó jugando a una clase de “solitario” con tarjetas de cada elemento durante los largos viajes en tren que a menudo realizaba por Rusia. Ninguna de estas historias ha sido efectivamente verificada o documentada, y forman parte del anecdotario sobre su descubrimiento.

El desarrollo posterior de la Ley Periódica (como realmente corresponde a lo que descubrió Mendeleev) requirió no solo de cambios en algunos pesos atómicos conocidos al ser determinados con mayor exactitud, sino también del descubrimiento de algunos elementos desconocidos, con pesos atómicos y propiedades anticipados por Mendeleev.

En su tabla, Mendeleev dejó espacios vacíos en los pesos atómicos 44, 68 y 72, y a estos elementos desconocidos los llamó eka-boro, eka-aluminio y eka-silicio, por las similitudes esperadas con los respectivos elementos ya conocidos. Durante los siguientes 17 años se descubrieron en Europa tres nuevos elementos: el galio (eka-aluminio) de peso atómico 69,3 descubierto en Francia en 1875 por P. E. Lecoq de Boisbaudran, el escandio (eka-boro) de peso atómico 45 descubierto en Suecia en 1879 por L. Nilson y el germanio (eka-silicio) de peso atómico 72,5 descubierto en Alemania en 1886 por C. Winkler. Si bien la formulación de la ley periódica y la tabla donde se ordenaban los elementos en columnas y períodos según el peso atómico creciente hoy nos parece muy importante, en aquel momento no recibió gran interés por parte de los colegas de Mendeleev (tenía 35 años de edad al momento de su publicación), pero luego del descubrimiento del galio cobró enorme notoriedad y reconocimiento científico en toda Europa, y con el descubrimiento del escandio y germanio se consolidó su figura.

Para ilustrar de manera cabal este último aspecto, podemos mencionar en forma comparativa algunas propiedades del galio (Ga) predichas por Mendeleev y aquellas posteriormente determinadas en forma experimental, esto es “anticipadas” vs “real”:

- a) Masa Atómica: 68 vs 69,3
- b) Densidad(g/cm^3): 5,9 vs 5,93

- c) Punto de Fusión: bajo vs 30,17 °C
- d) Fórmula del Oxido: X_2O_3 vs Ga_2O_3
- e) Fórmula del Cloruro: X_2Cl_6 vs Ga_2Cl_6

Llegado este punto, es justo y necesario reconocer que el ordenamiento de los elementos químicos en forma de una Tabla Periódica tuvo numerosos precursores y de propuestas de otros investigadores en forma casi simultánea. Entre ellos se encuentran Dobereiner (1829), Kremers (1852), Gladston (1853), Cooke (1854), Lenssen (1857), Pettenkofer (1858), Dumas (1858), Strecker (1859), Hinrichs (1867), Odling (1857, 1864), De Chancourtois (1862), Newlands (1865) y finalmente Meyer (1864, 1871). De todos ellos, solo Mendeleev consideró a la Tabla Periódica como una Ley Natural y no solo como una adecuada taxonomía de los elementos, y solamente Mendeleev la utilizó para predecir la existencia de elementos desconocidos y hasta para proponer cambios en los pesos atómicos entonces conocidos de algunos de ellos (y que tiempo después fueron determinados nuevamente y confirmadas las propuestas de Mendeleev).

Trabajos posteriores a la formulación de la Tabla Periódica

Mendeleev continuó haciendo actualizaciones sobre su ordenamiento de los elementos y también sobre su libro durante muchos años posteriores, pero su interés de estudio a partir de 1872 se ubicó principalmente en la física de los gases. Los conceptos centrales en su ley Periódica eran la afinidad química y la masa (o peso) de los elementos, y los consideraba como vinculados naturalmente el "Eter". En aquella época se consideraba al Eter como el medio en donde se propagaban las fuerzas de acción químicas y gravitacionales (ésta última descubierta por Isaac Newton en alrededor de 1685), y para Mendeleev el Eter debía estar formado por alguna clase de elemento de masa atómica extremadamente pequeña. Como pensaba en poder descubrir experimentalmente la composición del Eter en el residuo remanente de gases bajo condiciones de muy alto vacío, se dedicó al estudio de la elasticidad de los gases pero a las más altas presiones posibles (lo que hoy nos parecería carente de sentido). Con este proyecto pudo conseguir un importante apoyo económico por parte de la Sociedad Técnica de Rusia, que estaba vinculada al ministerio de las fuerzas militares y para quienes este tema era de gran interés, por ser determinante del proceso de disparo de cañones y armas de fuego. Como no disponía de instrumentos muy precisos,

Mendeleev tuvo que fabricar lo que necesitaba, entre éstos resultó el invento de un barómetro diferencial. En esta etapa de trabajo hizo estudios de las distintas leyes de comportamiento de los gases e hizo aportes para la formulación final de la muy conocida ecuación de estado de los gases ideales (que hoy llamamos ecuación de los gases perfectos): $p.V = n.R.T$. Como sus esforzadas investigaciones sobre la composición del Eter no condujeron a resultados satisfactorios (hoy sin duda sabemos el motivo), luego de algunos años abandonó este tema de trabajo (alrededor de 1876). Sin embargo, su búsqueda del Eter en las condiciones del “vacío natural” que debía existir en lo más alto de la atmósfera terrestre lo llevó a interesarse en la meteorología y el vuelo por aire en globos aerostáticos (por entonces el único modo posible de ascender en la atmósfera). En esta etapa los temas de interés fueron la aero- e hidrodinámica y la aero- e hidromecánica, inclusive en la teoría de la construcción de barcos, ya que todos ellos estaban basados en el tema de la “resistencia de los medios”. Algunos de sus colegas científicos consideraban al Eter como el medio de transmisión de los fenómenos psicológicos inexplicables (o “paranormales”), y Mendeleev no fue ajeno a ellos. Gracias al uso de instrumentos de manómetros altamente sensibles, pudo descubrir que las sesiones de “médiums” y “espiritistas” que provocaban tanto asombro y atención de la gente en esa época, eran tan solo un truco y redactó informes al respecto.

Luego del descubrimiento del galio, en 1875, su autoridad científica creció al punto de ser incorporado en la Academia de Ciencias de San Petersburgo como miembro correspondiente (1876) y transformarse en consultor del gobierno del Zar y de empresarios privados de la industria del petróleo, entre otras. Entre los años 1875-1878 se produjo un importante conflicto entre el imperio otomano y los pueblos de la Península de los Balcanes, que condujo a la guerra ruso-turca de 1877-1878. Este conflicto produjo una profunda crisis de la industria del petróleo en Rusia. Luego de un viaje por los Estados Unidos para conocer las características de la moderna industria petrolera que se estaba desarrollando, Mendeleev propuso al gobierno ruso una serie de reformas de tecnología y de tasas de impuestos, que fueron aceptadas y que permitieron la completa recuperación económica de esa industria en el término de la siguiente década. Una de sus actividades científicas de este período fue la formulación de una hipótesis sobre un origen mineral del petróleo, sobre la base de la reacción de carburos de hierro con el agua a las altas presiones y temperaturas existentes en las profundidades de la Tierra.

Más allá de la Química, la Tecnología y la Industria

Desde el comienzo de los años 1870s Mendeleev también puso mucho interés en aspectos de tipo humanísticos. El primero de ellos fue en la educación superior de Rusia, participando de la creación de los primeros cursos para mujeres dando él mismo clases de química, posteriormente proponiendo reformas en el sistema de liceos para orientarlos a un sistema de educación continua. El segundo aspecto que captó su interés fueron las bellas artes. Entre 1871 y 1873 dio un curso de química a un grupo de pintores famosos, en particular sobre la química de los pigmentos y colores. Comenzó a visitar con frecuencia las galerías de arte y a ser el anfitrión en su departamento de los “Miércoles de Mendeleev”, donde se reunían científicos y artistas. En esta época fue incorporado como miembro pleno en la Academia Imperial de Artes de Rusia.

En 1877 (a los 43 años de edad y aun estando casado), Mendeleev conoce a Anna Popova, una estudiante de pintura en la Academia de Artes de 19 años de edad, con quien inicia una relación sentimental que durará todo el resto de su vida. Sin estar formalmente divorciado de su esposa, Feozva Leschova (con quien había tenido tres hijos: Maria, Vladimir y Olga) se casa con Anna Popova en 1882 tras el nacimiento de su hija Lyubov, a la que seguirían más tarde tres hijos más, Ivan y los gemelos Vasiliy y Maria. Las autoridades de la Iglesia Católica Ortodoxa Rusa le prohibieron un segundo matrimonio sin estar divorciado, y luego de producirse este matrimonio protestan enérgicamente ante el Zar Alejandro II por la grave falta religiosa cometida por Mendeleev, ya que técnicamente era un bígamo. Cabe recordar que en aquel momento la jerarquía eclesiástica poseía una enorme influencia en el pueblo ruso, profundamente religioso, y en las decisiones del Zar. Sin embargo, ante este reclamo el Zar les respondió: *“Mendeleev tiene dos esposas, si, pero yo tengo sólo un Mendeleev”*. Tal era el prestigio que había alcanzado en todo el pueblo ruso.

Poco después obtiene el divorcio de su primera esposa y le otorga por entero todo el salario que cobraba como profesor en la Universidad de San Petersburgo, donde mantuvo su cargo a pesar de las protestas de la Iglesia (el sacerdote que casó a Dmitriy y Anna perdió su puesto dentro de la Iglesia). En Noviembre de 1880 no consigue ingresar como miembro de la Academia de Ciencias rusa por 10 votos contra 9. Toda la comunidad científica y los diarios protestaron por esta decisión, y enseguida comenzó a recibir invitaciones para incorporarse como miembro honorario o miembro pleno de numerosas sociedades académicas, al punto de recibir la Medalla Davy de la muy prestigiosa Royal Society de Inglaterra.

En esta época deja sus trabajos sobre la resistencia de los medios y comienza a investigar sobre la teoría de las soluciones, un tema que había abordado en los comienzos de su carrera. Estudió la densidad en función de la concentración y diferentes temperaturas para más de 200 soluciones, y postuló la formación de compuestos definidos, tales como $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$, o como $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-150.H}_2\text{O}$, de un modo similar a sus anteriores estudios sobre soluciones de etanol-agua. Su punto de vista tuvo muchos seguidores pero era bastante diferente al que tenía el renombrado científico Svante Arrhenius, quien también trabajaba sobre el tema de soluciones pero con una teoría más "física". Algunas décadas más tarde se encontró que ambos puntos de vista podían considerarse como complementarios, pero las fuertes discrepancias y críticas personales que Mendeleev sostuvo con Arrhenius le valdrían unos 25 años después no obtener el Premio Nobel por su formulación de la Ley Periódica.

Luego de la guerra ruso-turca de 1877-1878, la economía rusa quedó muy arruinada y en el año 1882 se organiza en Moscú un Congreso sobre Industria y Comercio, donde Mendeleev dio disertaciones sobre fundición del hierro, petróleo, combustibles, sales, carbón, cuero, lino, algodón, papel, lana, seda y aspectos de mecanización en la industria. Su posición respecto al uso que se debía dar al petróleo fue categórica, consideraba que "quemar el petróleo era como encender la estufa de la cocina con billetes de banco". Lo consideraba como un recurso de sustancias químicas y no para producir energía térmica.

En Marzo de 1890 presentó una petición de sus estudiantes ante el Ministro de Educación, quién le respondió que debía dedicarse a enseñar y no involucrarse con estudiantes y la política (era una época de fuertes conflictos políticos y sociales en Rusia, en particular contra la autoridad del Zar). La reacción de Mendeleev fue de presentar inmediatamente la renuncia a su cargo de profesor en la Universidad de San Petersburgo. Su última clase fue interrumpida por la policía porque tenían temor que pudiera conducir a los estudiantes a un levantamiento. No estuvo mucho tiempo sin trabajo ya que enseguida fue contratado por el Ministerio Naval para desarrollar una fórmula de pólvora sin humo, la que obtuvo un par de años después y con una calidad superior a la que se producía en Inglaterra o Francia. Entre otras colaboraciones con el Ministerio Naval se destaca el asesoramiento para la construcción del primer estanque de prueba de buques, aunque este Ministerio rechazó otro de sus proyectos, la construcción de un buque rompehielos para la exploración del Ártico, un aspecto que Mendeleev consideraba de gran importancia futura para Rusia.

En 1892 acepta el ofrecimiento del Ministro de Finanzas de Rusia y toma la posición de encargado científico de la Oficina de Pesos y Medidas, llevando adelante importantes reformas en metrología. Enseguida esta pequeña oficina se transforma en un organismo de mayor jerarquía dentro de la administración del gobierno y se ubica en tercer lugar (detrás de Francia y Alemania) como centro de excelencia en estudios de metrología en toda Europa. Mendeleev renovó los estándares de las unidades de masa y longitud que se estaban utilizando en Rusia, construyó un observatorio y laboratorios para el estudio de los estándares de unidades físicas tales como tiempo, presión, corriente eléctrica y luz, diseñó instrumentos de alta exactitud tal como una balanza, que se denominó luego “balanza de Mendeleev”, y formuló un plan gradual para incorporar a Rusia al sistema métrico internacional y al Calendario Gregoriano. Recordemos que hasta ese momento Rusia se regía por el Calendario Juliano, que tenía un diferencia de aproximadamente diez días con el Gregoriano.

Además de sus tareas y obligaciones en la Oficina de Pesas y Medidas, Mendeleev se dedicó a escribir capítulos de carácter popular sobre temas diversos para una Enciclopedia, amplió su famoso libro “Fundamentos de Química” (7^{ma.} y última edición realizada en 1903) y se dedicó a escribir sobre temas de demografía, política y problemas sociales.

En 1905 escribió en su diario personal: *“solo cuatro temas han construido mi nombre: la Ley Periódica, el estudio de la elasticidad de los gases, la comprensión de las soluciones como asociaciones y el libro Fundamentos de Química”*. Más tarde en una carta expresó que consideraba a su vida como tres servicios: *“primero, investigación; segundo, enseñanza y tercero, el servicio a la industria nacional”*. Algunas décadas después, el Físico Vavilov lo llamó un “físico en química y un químico en física”.

Postulaciones para el Premio Nobel de Química

Luego de 1904, cuando el Premio Nobel de Química fue otorgado a Sir William Ramsay por su descubrimiento de “los elementos gaseosos inertes del aire y la determinación de su posición en el sistema periódico” (los gases nobles que Mendeleev no había contemplado por no ser conocidos pero que sin embargo no invalidaban su Tabla Periódica) resurgió el interés entre los químicos por el creador de este sistema, y Mendeleev fue nominado para este premio en 1905. Sin embargo el premio fue otorgado al alemán Adolf von Baeyer por el desarrollo de la química orgánica mediante los colorantes químicos. Fue nominado nuevamente en 1906, pero en esta oportunidad lo ganó el francés Henri Moissan por sus

experimentos sobre el aislamiento del flúor. Mendeleev fue segundo en ambas votaciones. Se cuenta que este resultado se debió a las influencias que tenía Svante Arrhenius entre los integrantes del Comité Nobel de Química, a muchos de los cuales convenció con el argumento de que el sistema periódico ya era demasiado viejo como para reconocerse su descubrimiento en 1906.

Por tercera vez fue nominado en 1907, justo antes del cierre de presentaciones el 31 de Enero, pero fue demasiado tarde. Mendeleev fallece de influenza el 2 de Febrero, pocos días antes de cumplir 73 años de edad. Durante su funeral las calles se colmaron de gente y el cortejo fúnebre fue encabezado por estudiantes que llevaban en sus manos grandes Tablas Periódicas.

Algunas consideraciones finales sobre el pensamiento y carácter personal de Dmitriy Mendeleev

Luego de egresar del Instituto Pedagógico de San Petersburgo como maestro, en 1855 y a los 21 años de edad, Mendeleev ya tenía en claro las metas que impulsarían su vida: "la visión del pueblo ruso a quien sabía que podía ayudar a través de la ciencia", y a su egreso como Magister (1856) centró su vida en su carrera de enseñanza e investigación. Era esencialmente un maestro dedicado a su trabajo y a sus alumnos, un amante de su país y de sus semejantes. El primer aspecto dio como resultado sus libros y la Tabla Periódica, el segundo resultó en sus estudios de tecnología química y la organización de las industrias, agricultura, meteorología y metrología de Rusia.

Mendeleev siempre estaba en contacto con el aula. Una gran parte de su trabajo de laboratorio, incluido el de la tabla periódica, se produjo en su tiempo libre después de sus conferencias. Disfrutaba educando a la gente, y sus estudiantes disfrutaban de sus esfuerzos. Respecto a la enseñanza expresó: *"... Para mí fue una revelación, una hermosa improvisación, un estimulante para el intelecto que dejó huellas profundas en mi desarrollo."*

Pero no solo enseñaba en las aulas universitarias, sino en cualquier lugar por donde viajaba. En sus viajes en tren viajaba en tercera clase junto con los mouzhiks (campesinos), y compartía sus hallazgos sobre la agricultura con los campesinos mientras bebían una taza de té. La admiración que Mendeleev tenía por el pueblo de Rusia era correspondida por el

pueblo. En los trenes, los mouzhiks se reunían para verlo y hablar con él. Los estudiantes universitarios también lo adoraron, multitudes de estudiantes llenaban las salas de conferencias para escucharlo hablar de química.

Para Mendeleev, la ciencia siempre fue el tema más importante, pero vivió durante un período de convulsiones en Rusia y consideraba que la ciencia debía expandirse a los ámbitos de la política y la desigualdad social. No tuvo temor de expresar sus puntos de vista sobre estos temas:

“Existe en todas partes un medio en las cosas, determinado por el equilibrio. El proverbio ruso dice: “Demasiada sal o muy poca sal es igualmente mal”. Es lo mismo en las relaciones políticas y sociales ... Es función de la ciencia descubrir la existencia de un reino general de orden en la naturaleza y encontrar las causas que rigen este orden. Y esto se refiere en igual medida a las relaciones del hombre, sociales y políticas, y al universo entero como un todo”.

Fueron estos pensamientos los que impulsaron su formulación de la ley periódica y también la presentación de la renuncia a su cargo de profesor en la Universidad de San Petersburgo, el 17 de agosto de 1890.

Desde el principio de su carrera, sintió que había algún tipo de orden en los elementos, y pasó más de trece años de su vida recopilando datos y elaborando el concepto, inicialmente con la idea de resolver parte del caos en el campo de la química para sus estudiantes. Mendeleev fue uno de los primeros científicos modernos que no se basó únicamente en su propio trabajo, manteniendo contactos con científicos de todo el mundo para recibir los datos de sus investigaciones y con ello ayudando a establecer vínculos de comunicación entre científicos en Europa y Estados Unidos. Con sus propios datos y los de sus colegas pudo organizar los elementos de acuerdo con sus propiedades. Al respecto, expresó: *“Ninguna ley de la naturaleza, por general que sea, se ha establecido de una vez. Su reconocimiento siempre ha sido precedido por muchos presentimientos. El establecimiento de una ley, además, no tiene lugar cuando se toma la primera idea, o incluso cuando se reconoce su importancia, sino solo cuando ha sido confirmado por los resultados del experimento. El hombre de ciencia debe considerar estos resultados como la única prueba de la exactitud de sus conjeturas y opiniones.”*

Las imágenes que han llegado a nuestros días de este científico siempre lo muestran con rasgos muy característicos: con cabellos y barba largos y un tanto desaliñados. Esto se debe a que en la etapa final de su carrera su apariencia personal se hizo cada vez menos importante, así como también el afecto a las relaciones sociales con quienes lo querían conocer y expresar su reconocimiento y admiración. Se dice que en sus últimos años, Dmitriy solo se cortaba el pelo y la barba una vez al año. Ni siquiera lo cortaba a pedido del propio Zar de Rusia.

Mendeleev tenía un carácter fuerte y siempre estaba muy ocupado en sus tareas y no le gustaba perder el tiempo en cosas sin sentido, la anécdota que se describe a continuación da cuenta muy claramente de esto. En una oportunidad un reportero de un importante periódico llegó a la Oficina de Pesos y Medidas donde trabajaba Mendeleev con motivo de algún tipo de aniversario Mendeleeviano (había muchos de ese tipo en sus últimos años y abundaban las celebraciones en su honor). A Dmitriy Ivanovich no le gustaban, y dejaba la ciudad en esos días, o expresaba tal oposición a esos agasajos que nadie se atrevía a enviarle sus felicitaciones, mucho menos ir a felicitarlo personalmente. Cuando este reportero se presentó ante el viejo científico con sus felicitaciones, Mendeleev se enfureció y comenzó a decir que no malgastaría su tiempo con tales tonterías. Pero luego aparentemente comenzó a sentir lástima por su visitante y se suavizó un poco.

"Bueno", dijo, "ya que estás aquí, siéntate. Conversemos un rato".

El periodista aceptó la invitación y preguntó: "¿Cómo ve usted, profesor, a la educación superior?"

Dmitriy Ivanovich lo miró.

"¿Cuántos años tienes?", Preguntó.

"Treinta y cinco."

"Bueno, en mi opinión tienes doce años, y con alguien de doce años yo no puedo discutir tales asuntos. Disculpame."

La entrevista había terminado.

(Anécdota tomada del artículo "Some of Mendeleeffs personal characteristics, de W. R. Winicov, J. Chem. Educ. August 1937, pp. 372-375.)

Trascendencia de la figura de Dmitriy Ivanovich Mendeleev

Para tomar dimensión de la figura de este científico y de la magnitud del prestigio que alcanzó, a continuación mencionamos algunas cosas nombradas en su honor:

- 1- Mendeleevio, el elemento químico de número atómico 101 descubierto en 1955 en Estados Unidos.
- 2- Mendeleevita, un mineral de fórmula general $\text{Ca}_2\text{UTi}_2\text{Nb}_2\text{O}_{13}$ (con 26% de contenido de U_3O_8).
- 3- Mendeleev, el asteroide Nro. 2769 de 21,6 km de diámetro que orbita entre Marte y Júpiter, descubierto en 1976.
- 4- Mendeleev, un cráter en el lado oscuro de la Luna.
- 5- Mendeleev, una cresta marina en el Océano Artico, de 1500 km de largo y una altura de 3-4 km sobre el fondo del mar, descubierta en 1948.
- 6- Mendeleev, un pico de montaña de 4.122 m de altura en las montañas Tien-Shan en Kyrgystan.
- 7- Mendeleev, un volcán en la isla Kunashir, Islas Kuriles, cuya última erupción fue en 1880.
- 8- Mendeleev, un buque de investigación de la Academia Soviética de Ciencias con capacidad para 77 científicos y 10 laboratorios, construido en Alemania en 1968 y desmantelado en 2001. Fue utilizado por 24 años realizando 50 campañas a través de todo el globo.

En Rusia, Mendeleev es el nombre de una ciudad industrial y su periódico local, de un aeropuerto, de numerosos pueblos y pequeños poblados en diferentes regiones, de un lago, de numerosas calles de ciudades, de una estación de metro en Moscú, de una biblioteca pública, de un café "jazz and rock" de estudiantes, de un vodka y de numerosas escuelas y colegios. También existe la Olimpiada Química Mendeleev, la Universidad Tecnológica Mendeleev (en Moscú), el Instituto Pedagógico Mendeleev (en Tobolsk), la Refinería de Petróleo Mendeleev (en Yaroslavl), el Instituto de Metrología Mendeleev (en San Petersburgo), la Sociedad Química Mendeleev, los Congresos Mendeleev y la Medalla de Oro Mendeleev de la Academia Nacional.

Premios y Membresías de Sociedades

Entre los premios recibidos por Mendeleev y membrecías en Sociedades de distinto tipo, se destacan:

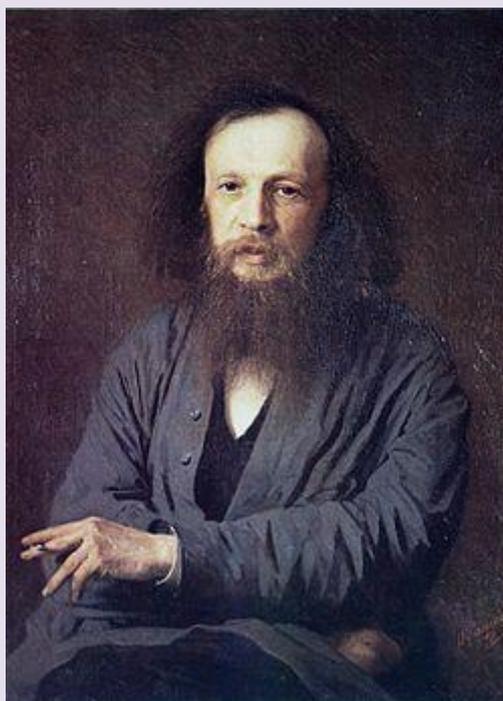
- 1- Premio Devidov (1862), medalla Davy (England Royal Society, 1882), medalla de oro (Paris Academy of Flight, 1887), medalla Faraday (English Chemical Society, 1889), medalla Copley (Royal Society of London, 1905).
- 2- Doctor de las siguientes Universidades: San Petersburgo (Rusia), Edimburgo y Glasgow (Escocia), Goettingen (Alemania), Oxford y Cambridge (Inglaterra), Princeton y Yale (Estados Unidos).
- 3- Miembro de Academias en Paris, Dinamarca, Viena, Cracovia, Roma, Bélgica, Prusia, América y Serbia.
- 4- Miembro de las siguientes sociedades: Real Sociedad de Londres, Real Sociedad de Edimburgo y Dublín, Sociedad Química Rusa, Sociedad Mineralógica de San Petersburgo, Sociedad Agrícola de Moscú, Sociedad de Adeptos a las Ciencias Naturales, Sociedad de Antropología y Etnografía de la Universidad de Moscú, Sociedad Química Alemana, Sociedad de Química Biológica, Sociedad Científica Italiana, Academia Imperial de Artes, Comité Internacional de Pesos y Medidas.
- 5- Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias de San Petersburgo, Sociedad de Apoyo a la Industria Nacional, Sociedad Rotterdam de Ciencias Naturales, Academia de Ciencias Húngara, Sociedad Real de Ciencias en Goettingen, Academia Real de Ciencias en Turín y en Roma.

6- Miembro Honorario de: Real Instituto de Gran Bretaña, Universidades Imperiales de Moscú, Kiev, Odesa, Yuryev y Tomsk; Academia Imperial de Cirugía Médica, Academia de Agricultura Pedro El Grande, Instituto Politécnico de San Petersburgo, Institutos Tecnológicos de Tomsk y San Petersburgo, Academia Americana de Artes y Ciencias en Boston, Real Academia Irlandesa, Academia Sueca de Ciencias, Academia de Ciencias del Instituto Boloña, Sociedad de Físico-Química de Rusia, Sociedad Química Americana, Sociedad Técnica Imperial Rusa, Sociedades de Ciencias Naturales en Kazan, Kiev, Riga, Ekaterimburgo, Cambridge, Frankfurt-on-Main, Goteburgo y Brunswig, Sociedad Politécnica de Moscú, Sociedades de Agricultura de Moscú y Poltava, Sociedad de Doctores de Rusia, Sociedades de Medicina en San Petersburgo, Vilno, Caucaso, Vyatka, Irkutsk, Archangelsk, Simbirsk y Ekaterinoslav, Sociedades Farmacéuticas en Kiev, Gran Bretaña y Filadelfia, Sociedad de Ciencias Físicas en Bucarest, Sociedad Filosófica de Cambridge, Sociedad Filosófica Americana, Sociedad Astronómica de Rusia, entre otras.

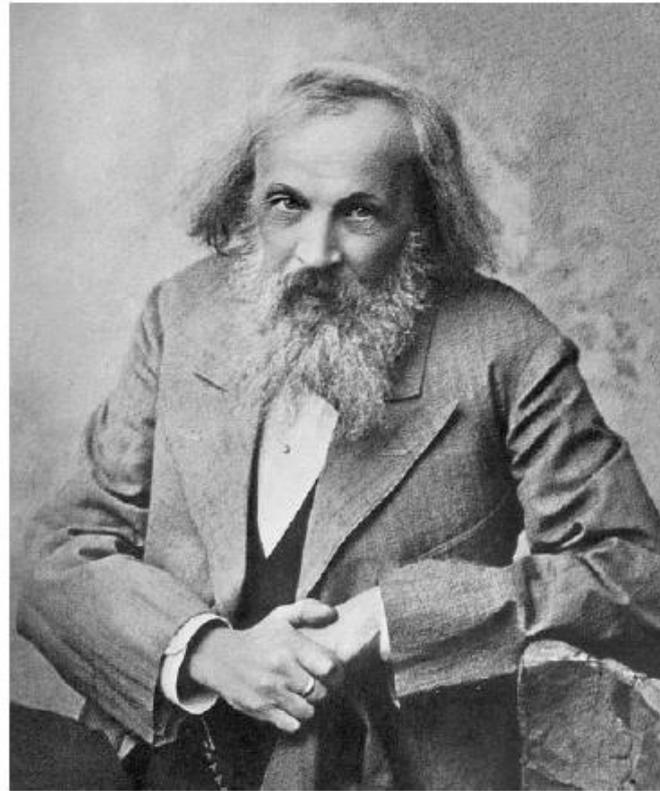
Texto recopilado y adaptado desde:

- Dmitriy Mendeleev: "A Short CV, and A Story of Life". E. V. Babaev. Chemistry Department, Moscow State University, Moscow 119991. <http://www.mendcomm.org/Mendeleev.aspx> (website de Mendeleev Communications).

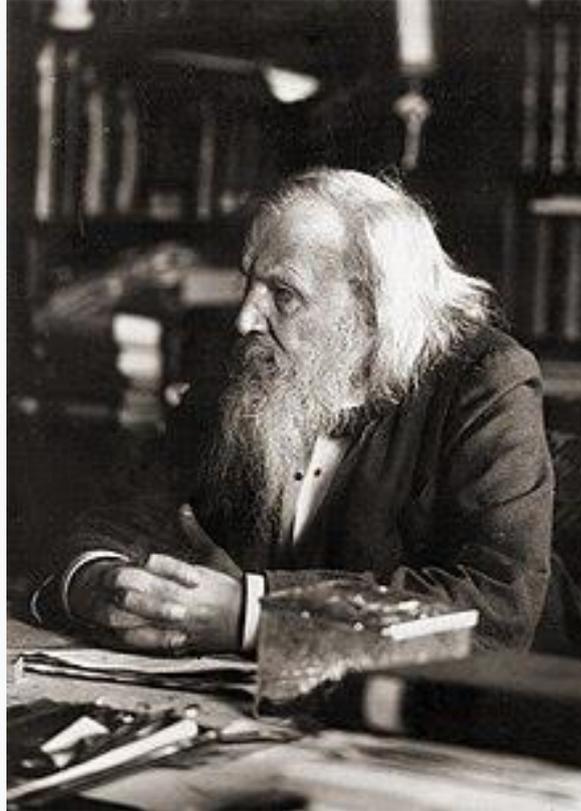
Galeria de imágenes de Dmitriy Mendeleev y su Tabla Periódica de los Elementos Químicos.



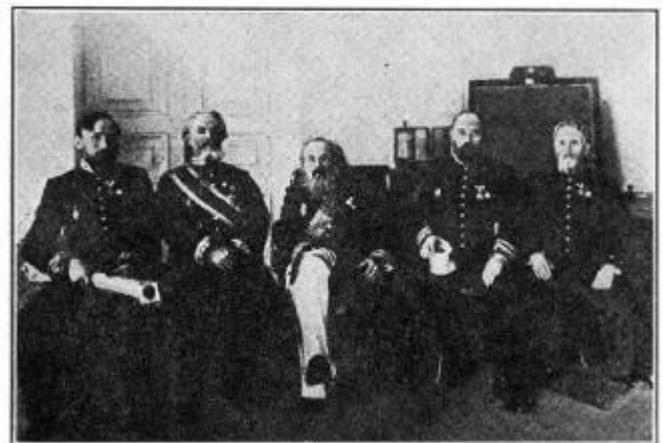
Retrato de Dmitriy Mendeleev (1878), realizado por el pintor ruso [Iván Kramskói, a los 44 años de edad.](#)



Retrato fotográfico de Dmitriy Mendeleev tomado alrededor del año 1890 (a los 56 años de edad).



Retrato fotográfico de Dmitriy Mendeleev tomado hacia el final de su vida (falleció el 2 de Febrero de 1907, a los 73 años de edad).



Dmitriy Mendeleev en su estudio (izquierda) y junto a colegas rusos (derecha)



Dmitriy Mendeleev (sentado, cuarto desde la izquierda) con un grupo de prominentes químicos ("200th Anniversary", 1900).

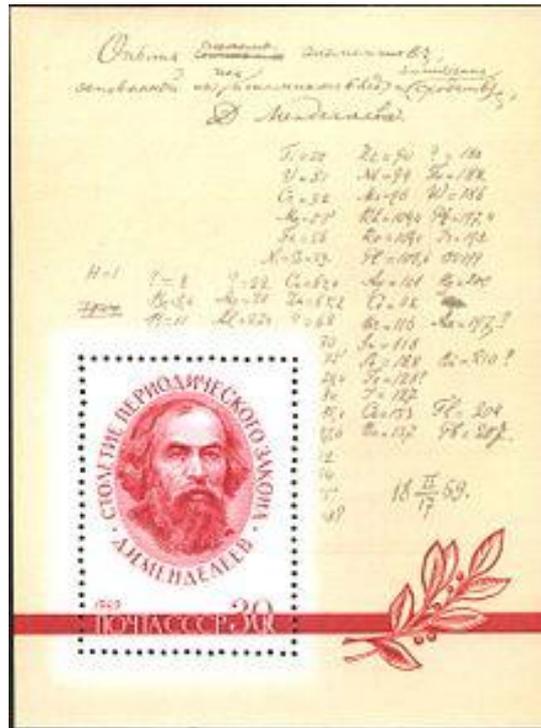
Esta fotografía es la Figura 2 del artículo titulado "Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834 – 1907), Prominent Russian Scientist. References to His Great Scientific Achievements in the Literature between 1871 and 1917" de A. Szejnberga, publicado en Rev. CENIC Cienc. Quím. (2018) 49: 1-13. 2018.

Benjamin Harrow (1888-1970) insertó esta fotografía en la primera página de su libro titulado *Eminentchemists of our time* (Químicos eminentes de nuestro tiempo). También escribió que esta fotografía representa "los químicos eminentes fotografiados durante una de las conferencias científicas internacionales. (Harrow, 1920, p. 2).

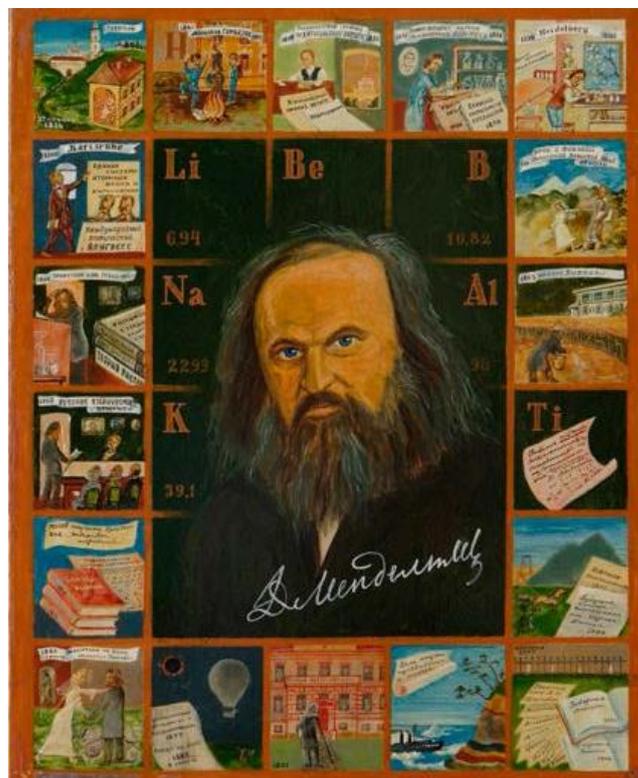
La fotografía fue publicada por Harrow gracias a la gentileza del Profesor Ernst Julius Cohen (1869-1944) de la Universidad de Utrecht en Holanda.

Parados, de izquierda a derecha: Albert Ladenburg (1842-1911), Sophus Mads Jørgensen (1837-1914), EdvardHjelt (1855-1921), Hans Heinrich Landolt (1831-1910), Clemens Alexander Winkler (1838-1904), y Sir Thomas Edward Thorpe (1845-1925).

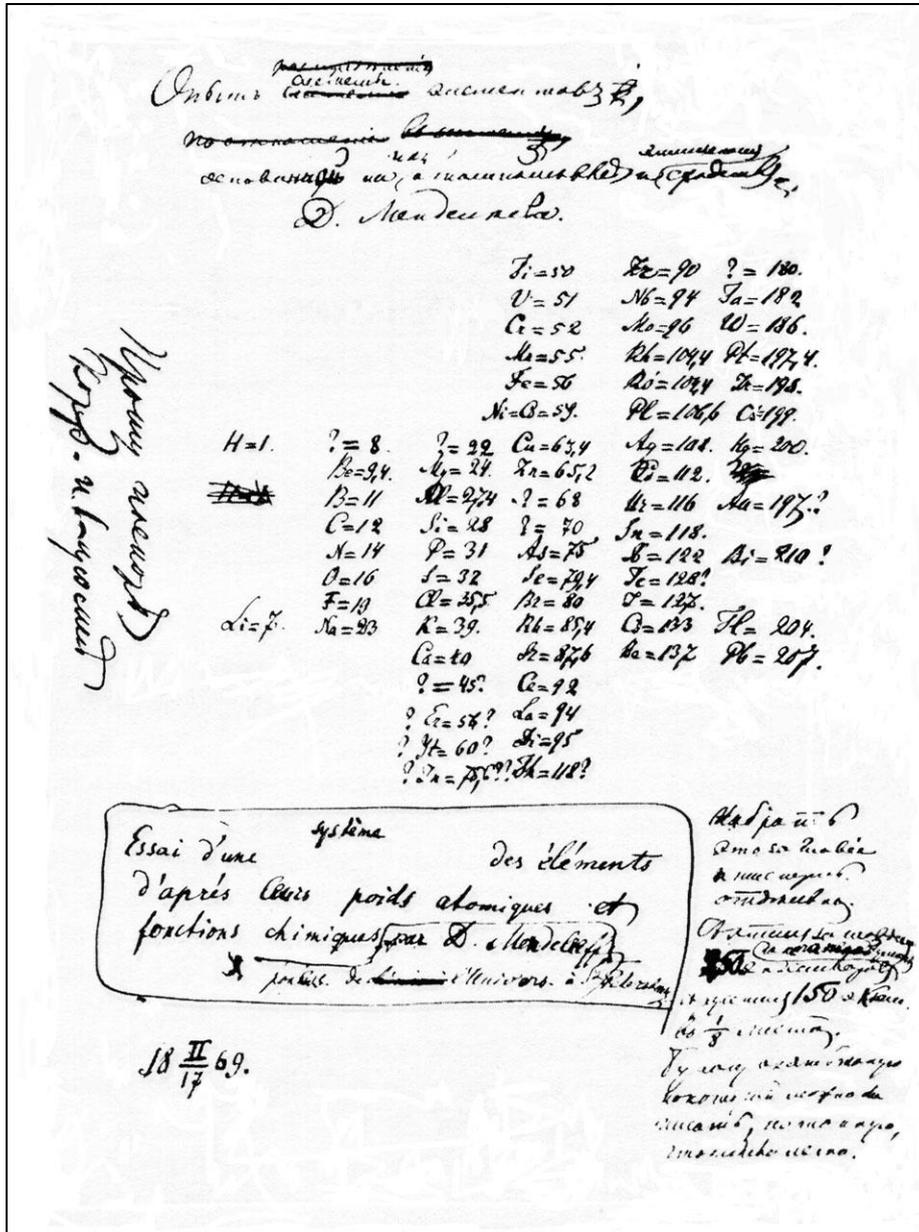
A la izquierda de Dmitriy Mendeleev se encuentra Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911), Friedrich Konrad Beilstein (1838-1906), y Sir William Ramsay, a su derecha Adolf von Baeyer (1835-1917) y Alfonso Cossa (1833-1902).



Franqueo soviético con sello, en honor de Dmitriy Mendeleev.



Retrato de Dmitriy Mendeleev realizado por el pintor ruso Yuri Konev, en la segunda mitad del siglo XX. Alrededor de la imagen central se detallan imágenes de distintos momentos de la vida de D. Mendeleev.



Página manuscrita de Dmitriy Mendeleev del ordenamiento propuesto para los elementos hasta entonces conocidos (aprox. 62), presentada a la Academia de Ciencias de Rusia el 1ro. de Marzo de 1869. Manuscrito fechado el 17 de Febrero de 1869 (del Calendario Juliano)

**ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,
ЮВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВЪСЪ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТ**

			Ti=50	Zr= 90	?=180.
			V=51	Nb= 94	Ta=182.
			Cr=52	Mo= 96	W=186.
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,1.
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
			Ni=Co=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=27,3	?=68	Ur=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=35,5	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

Título en ruso: "Un experimento sobre un sistema de elementos basados en sus pesos atómicos y similitudes químicas". Ordenamiento de los elementos químicos presentado por Dmitriy Mendeleev en su versión impresa, presentada a la Sociedad Química rusa el 6 de marzo de 1869, en la presentación formal de su trabajo titulado "La dependencia entre las propiedades de los pesos atómicos de los elementos".



Tabla Periódica de Mendeleev, impresa en 1871. Los guiones representan a elementos desconocidos.

Antecedentes de ordenamiento de los elementos químicos
(publicados poco antes de la formulación de D. Mendeleev).

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50	
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51	
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Hg 52	
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53	
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54	
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55	
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56	

Ley de las Octavas, formulada por Newlands en 1864.

	4 werthig	3 werthig	2 werthig	1 werthig	1 werthig	2 werthig
Differenz =	-	-	-	-	Li = 7,03	(Be = 9,3?)
	C = 12,0	N = 14,04	O = 16,00	F = 19,0	16,02	(14,7)
Differenz =	16,5	16,96	16,07	16,46	Na = 23,05	Mg = 24,0
	Si = 28,5	P = 31,0	S = 32,07	Cl = 35,46	16,08	16,0
Differenz =	89,1/2 = 44,55	44,0	46,7	44,51	K = 39,13	Ca = 40,0
	-	As = 75,0	Se = 78,8	Br = 79,97	46,3	47,6
Differenz =	89,1/2 = 44,55	45,6	49,5	46,8	Rb = 85,4	Sr = 87,6
	Sn = 117,6	Sb = 120,6	Te = 128,3	J = 126,8	47,6	49,5
Differenz =	89,4 = 2*44,7	87,4 = 2*43,7	-	-	Cs = 133,0	Ba = 137,1
	Pb = 207,0	Bi = 208,0	-	-	(71 = 2*35,5)	-
			-	-	(TI = 204?)	-

Tabla periódica de Lothar Meyer, publicada en "Die Modern en Theorien der Chemie", en 1864.

Tabla Periódica donde se muestra el sistema de numeración de grupos recomendado por la Union Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC)

Currently Recommended IUPAC Numbering System

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H	Li, Be	Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn	B, C, N, O, F, Ne														
Na, Mg	Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd	Al, Si, P, S, Cl, Ar															
K, Ca	Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg	Ga, Ge, As, Se, Br, Kr															
Rb, Sr	Lr, Rf, Db, Sg, Bh, Hs, Mt, Uun, Uuu, Uub	In, Sn, Sb, Te, I, Xe															
Cs, Ba	La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb	Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn															
Fr, Ra	Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No	Uuq															

Descubrimiento de los Elementos Químicos

Elementos conocidos antes de 1700

Elementos conocidos al año 1799

Elementos conocidos al año 1899

Algunas imágenes de interés histórico

PV. IV.

	Acide.		Coaguler		Hiale.		Sel Ammoniac.
	Acide Vitriolique.		Corne de Cerf.		Luter.		Sel Marin.
	Acide Nitreux.		Creuset.		Marcassite.		Sel Gemme.
	Acide Marin.		Cristal et Crystallisation.		Nitro ou Salpêtre.		Soude.
	Air.		Cuivre ou Venus.		Or.		Souphre.
	Airain ou Cuivre brulé ou ustum.		Cucurbite.		Phlegme.		Souphre des Philosophes.
	Alan.		Décoction.		Phlogistique.		Souphre Vif.
	Amalgam.		Dissolution.		Phosphore.		Souphre Noir.
	Au.		Distiler.		Pierre Calamitaire.		Stratum Super, Stratum, ou Couche par Couche.
	Antimoine.		Eau.		Purifier.		Sucre.
	Arsenic.		Eau de Pluie.		Quinte-essence.		Tartre.
	Bain.		Eau Bouillante.		Régule d'Antimoine.		Teinture.
	Bain de Vapeurs.		Eau Mere.		Régule d'Arsenic.		Terre.
	Bain de Sable.		Eau de Vie.		Résine.		Terre absorbante.
	Bain de Fumier.		Ebullition.		Safran de Mars.		Tréurer.
	Bismuth.		Efferescence.		Safran de Venus.		Verd de gris ou Verd de.
	Bol d'Arménie.		Esprit.		Savon Noir.		Verre.
	Calciner.		Fermentation.		Seau d'Hermès.		Vinaigre.
	Cendre Clovellée ou Gravellée.		Filter.		Sel.		Vinaigre distillé.
	Céruse.		Fleurs d'Airain.		Sel Alkali.		Vitriol Vert.
	Chaux.		Fleurs d'Antimoine.		Sel Alkali fixe.		Vitriol Bleu.
	Cinabre.		Fourneau.		Sel Alkali Volatil.		Zinc.
	Cire.		Gomme.				

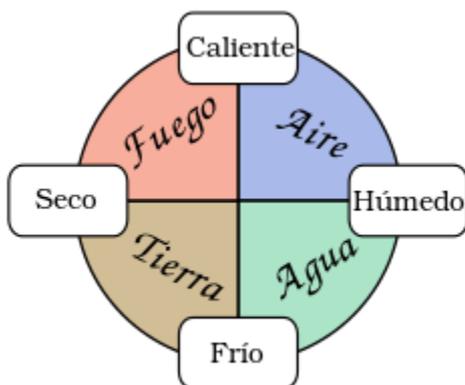
Genoir del.

Beard Boit.

Caracteres de Chymie.

Símbolos usados por los alquimistas para nombrar a algunos elementos y sustancias químicas, anterior al inicio del desarrollo científico de la química (aproximadamente a mediados del siglo XVII)

Esquema con los cuatro elementos griegos clásicos, considerados como los elementos que formaban toda la materia conocida (siglo V a.C.):



Nombre y símbolos de los cuatro elementos griegos clásicos:

Fuego: \triangle ; Tierra: ∇ ; Aire: \triangle ; Agua: ∇

\sim	\ominus	\oplus	\otimes	∇	\ominus	\oplus	SM	\triangle	∇	h	f	c	m	c	∇
\ominus	f	m	\triangle	\oplus	\oplus	\oplus	\oplus	\ominus	c	f	h	c	m	c	∇
\triangle	f	m	\ominus	\oplus	\oplus	\oplus	\oplus	m	c	f	PC	f	h	c	m
∇	f	h	\oplus	\oplus	\oplus	\oplus	f	h							
SM	c	f	∇	h	f	h	f								
	f	c	m	\triangle		c	f								
			f			h	h								
			c			f									
\oplus						\oplus									

- \sim Espéris acides.
- \oplus Terre absorbante.
- f Cuivre.
- h Soufre minéral. | Príncipe.
- c Acide du sel marin.
- m Substances métalliques.
- \triangle Fer.
- ∇ Principe huileux ou Sels.
- \otimes Acide sulfurique.
- \ominus Mercure.
- h Plomb.
- f Espéris de vitriole.
- \oplus Acide vitriolique.
- f Régule d'Antimoine.
- c Etain.
- m Eau.
- \triangle Sel.
- ∇ Sel alkali fixe.
- \oplus Or.
- h Zinc.
- f Sel alkali volatil.
- c Argent.
- m Pierre Calcaire.
- f Esprit de vin et Esprit de

Tabla de afinidades, de E. F. Geoffroy (1718). En la cabecera de cada columna se muestra una sustancia seguida de todas con las que se puede combinar.

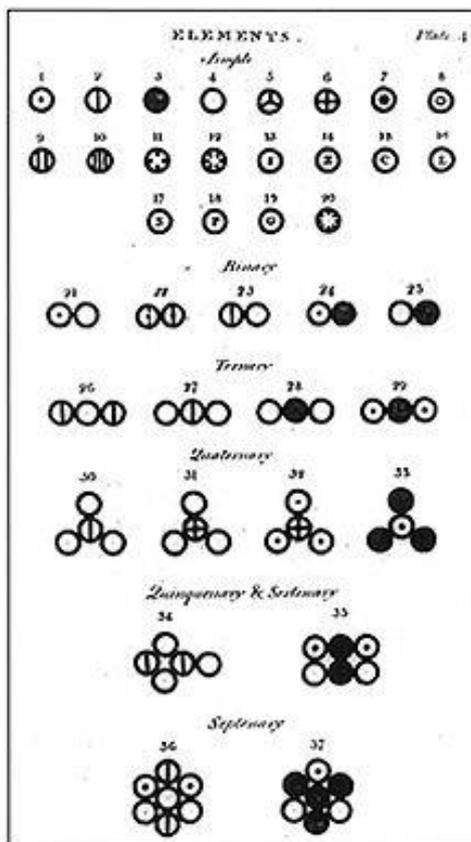


Ilustración con elementos y compuestos según *A New System of Chemical Philosophy* de John Dalton (1808)