
Las predicciones científicas de D.I. Mendeleiev

Dr. J. M. Llinàs and Dr. L. Victori*
Institut Químic de Sarrià. URL. Via Augusta 390. 08017 Barcelona

The D.I. Mendeleiev Scientific Predictions

Les prediccions científiques de D.I. Mendeleiev

Recibido: 3 de enero de 2008; aceptado: 18 de enero de 2008

RESUMEN

Este trabajo estudia las predicciones de Mendeleiev sobre la posible equivalencia entre materia y energía. Al mismo tiempo hace una crítica de algunos comentarios sobre este punto aparecidos en la bibliografía. Pretende ser un recuerdo del autor ruso en el centenario de su muerte.

Palabras clave: Mendeleiev. Historia. Química nuclear. Isótopos.

SUMMARY

This work studies the Mendeleev's predictions about the possible equivalence between matter and energy. At the same time it makes a criticism of some comments on this subject, appeared in the bibliography. It is intended to be a memorial of the Russian genial scientist in the centennial year of his death.

Key words: Mendeleiev. History. Nuclear chemistry. Isotopes.

RESUM

Aquest treball estudia les prediccions de Mendeleiev sobre la possible equivalència entre matèria i energia. Al mateix temps fa una crítica d'alguns comentaris sobre aquest punt apareguts a la bibliografia. Preten de ser un record de l'autor rus en el centenari de la seva mort.

Paraules clau: Mendeleiev. Història. Química nuclear. Isòtops.

1. INTRODUCCIÓN

Dmitri Ivanovich Mendeleiev expuso su teoría sobre el posible ordenamiento de los elementos químicos de acuerdo con su peso atómico creciente en dos artículos fundamentales:

El primero titulado «La relación entre las propiedades de los elementos y su peso atómico» apareció publicado en 1869⁽¹⁾. En él se encuentra formulada por primera vez la intuición fundamental del autor: que las propiedades de los elementos químicos dependen exclusivamente de su peso atómico; también aparece en él un esbozo de la primera clasificación de los elementos conocidos en aquel momento y, a la vez, una predicción de que si se descubrieran nuevos elementos tendrían un lugar en su Tabla.

En 1871 aparece el segundo artículo titulado «La regularidad periódica de los elementos químicos»⁽²⁾. Este trabajo, mucho más extenso y elaborado que el anterior, desarrolla su idea inicial de la periodicidad de las propiedades de los elementos químicos; presenta, además, una tabla con la distribución, de acuerdo con su peso atómico, de los elementos químicos conocidos hasta entonces, agrupados en filas y columnas según el parecido de su comportamiento.

* Autor para correspondencia.

Como ya hicimos notar en un trabajo anterior⁽³⁾, a nuestro parecer, el punto más genial de este artículo consiste en la predicción de tres nuevos elementos no conocidos en aquel momento: los que él llama ekaaluminio, ekaboro y ekasilicio, acompañados de una detallada descripción de sus propiedades. Dichos elementos con el tiempo resultaron ser respectivamente el Galio, descubierto en 1875 por el investigador francés Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran, el Escandio descubierto en 1879 por el investigador sueco Lars Frederick Nilson y el Germanio, descubierto en 1886 por el investigador alemán Clemens Alexander Winkler. Lo más impactante del caso fue que las propiedades observadas de estos nuevos elementos se ajustaron con gran precisión a las previstas por Mendeleiev. Como ya apuntamos, este éxito espectacular de las previsiones del científico ruso fue, a nuestro parecer, la causa de asignarle sin discusión la paternidad de la tabla periódica, frente a Lothar Meyer, que un año antes, en 1870, había publicado una Tabla muy parecida a la de Mendeleiev en la que este autor podría haberse inspirado al confeccionar la suya.

Creemos que el éxito de estas predicciones ha sido la causa de que en la literatura posterior hayan aparecido centenares de trabajos destacando el mérito de dichos escritos proféticos y calificando a Mendeleiev como «el profeta del orden químico»⁽⁴⁾, pero ciñendo el tema a este punto concreto: la exacta predicción de los citados elementos y de sus propiedades.

El propósito del presente trabajo consiste en ampliar el campo de las brillantes predicciones de Mendeleiev, en concreto comentar afirmaciones sobre la relación entre el balance del peso en una reacción y la energía asociada a dicho proceso. Sus predicciones en este campo, aunque algo confusas como veremos, fueron los primeros pasos de una ciencia que se desarrolló 30 años más tarde: la química nuclear.

Contrariamente a lo ocurrido en el caso de los nuevos elementos, en este punto de la relación entre peso y energía las predicciones de Mendeleiev han tenido muy poca resonancia en la literatura posterior: después de una exhaustiva búsqueda, nosotros sólo hemos encontrado tres artículos sobre el tema, que pasamos a enumerar a continuación:

– «*D.I. Mendeleiev frente a la inevitabilidad del cambio de masa en los procesos de transformación de los elementos*» de S. Z. Roginskii, aparecido en 1951⁽⁵⁾.

– «*Las previsiones poco conocidas de D. I. Mendeleiev*» de B. M. Kedrov, aparecido en 1953⁽⁶⁾. Es un largo trabajo muy bien documentado sobre todas las previsiones formuladas por nuestro autor; en el capítulo 3 aparece un apartado titulado «*Predicción de la aparición de defecto de masa y del equivalente de masa y energía*», que es el que realmente interesa para el presente trabajo.

– «*Equivalencia de masa y energía. Anticipación por parte de Mendeleiev*» de S. Sambursky, aparecido en 1969⁽⁷⁾. Se trata de un trabajo muy breve en el que el autor, después de citar las ideas básicas de Mendeleiev sobre la periodicidad de las propiedades de los elementos, traduce al inglés un párrafo del artículo de 1871 y se limita a enunciar, sin ningún comentario ni discusión, la intuición del autor ruso sobre la equivalencia entre masa y energía. En nuestro estudio no lo volveremos a citar.

El plan del presente trabajo consistirá en comentar un fragmento del capítulo quinto del artículo de 1871 titulado: «*Sobre la aplicación de la Ley Periódica a la corrección de los valores de los pesos atómicos*», en el que el autor formula las predicciones a las que nos estamos refiriendo. Al

mismo tiempo compararemos nuestras conclusiones con las de Roginskii y Kedrov. Para terminar, a modo de apéndice, haremos unas breves observaciones sobre algunos puntos de la teoría de Mendeleiev. El trabajo empieza con una introducción histórica del texto comentado y una traducción del mismo.

2. CONTEXTO Y TEXTO

El autor pretende en este capítulo quinto de su artículo proporcionar un sistema sencillo, basado en la clasificación periódica de los elementos, para recalcular correctamente sus pesos atómicos. Con este fin empieza por refutar la hipótesis de Prout y comentar la teoría de Stas y la de Marignac sobre los pesos atómicos de los elementos. A continuación pasamos a enunciar brevemente dichas teorías.

William Prout (*Horton 1785 – Londres 1850*) fue un químico y médico inglés que observó que los pesos atómicos de muchos elementos se aproximaban a números enteros; este hecho le llevó a formular en 1816 la hipótesis de que todos los elementos podrían estar formados por conjuntos de átomos de hidrógeno, de peso atómico unidad. El descubrimiento posterior de pesos atómicos fraccionarios pareció invalidar totalmente su hipótesis, hasta que un siglo después, la aparición de los isótopos de cada elemento concedió un cierto grado de validez a su intuición, sobre todo si sustituimos la palabra hidrógeno por protón (y neutrón), en aquel tiempo totalmente desconocidos. Mendeleiev dirá de Prout que «*su hipótesis había precedido los hechos con excesiva precipitación*».

Jean Servais Stas (*Lovaina 1813 – Bruselas 1891*) fue un químico analista belga que recalculó los pesos atómicos de los elementos utilizando como patrón el oxígeno 16; con ello encontró números fraccionarios y por lo mismo fue un acérrimo enemigo de la hipótesis de Prout. Curiosamente afirmó que entre las partes fraccionarias del valor correspondiente del peso atómico de distintos elementos no había encontrado ninguna que fuera racional. Los valores de los pesos atómicos, calculados por él con gran precisión, fueron sumamente útiles para el correcto trabajo clasificatorio de Mendeleiev.

Jean Charles Galissard de Marignac (*Ginebra 1817 – 1894*) fue un químico suizo, eminente experimentador, que descubrió y aisló el Yb (1878) y el Gd (1880). Trabajó mucho en la determinación exacta de pesos atómicos y chocó, como Stas, con la hipótesis de Prout; sin embargo, a diferencia del químico belga, concedió a la mencionada hipótesis cierto grado de validez y apuntó algunos indicios sobre la posibilidad de que hubiera átomos de un mismo elemento con peso distinto; es decir, habla ya de forma intuitiva de lo que después serán los isótopos. A pesar de la admiración que Mendeleiev profesaba por Marignac, en este punto no dudó un momento en rechazar la interpretación suavizada del autor suizo.

Este es el contexto en el que hay que situar la decisión de Mendeleiev de rechazar la hipótesis de Prout. Los valores calculados por Stas se alejan en muchos casos de los números enteros en cantidades suficientemente grandes como para no poder pensar en un posible error experimental. Sin embargo, acto seguido, se detiene un momento en comentar las posibles consecuencias que tendría sobre el peso atómico de un elemento el hecho de que estuviera formado por la íntima agrupación de átomos de hidrógeno. En este punto relativiza de raíz la hipótesis de Prout y, en consecuencia, los problemas derivados de su posible aceptación o rechazo.

Y es precisamente en este proceso de crítica de la concepción atómica de Prout donde Mendeleiev utiliza argumentos e hipótesis que sorprenden por su novedad y que, de alguna manera como veremos, hacen pensar en conceptos de la química nuclear que emergerá 30 años más tarde, a finales del siglo XIX.

A continuación pasamos a transcribir los dos párrafos de Mendeleiev que constituyen el centro de este debate:

Todo el mundo conoce el final de la hipótesis de Prout. Después que mediante precisas investigaciones quedó demostrado que los valores de los pesos atómicos podían contener fracciones y después que Stas indicó que entre ellas, no se podían aceptar fracciones racionales, debía desvanecerse, a pesar de la brillante contra-crítica de Marignac, cualquier duda respecto a que la hipótesis de Prout se había anticipado a los hechos con excesiva precipitación. A mi parecer, no existen razones suficientes para la aceptación de esta hipótesis. Incluso si se acepta que la materia de los elementos es perfectamente homogénea, no hay motivo alguno para suponer que n partes en peso de un elemento o n átomos transfieran íntegramente, en el paso a un átomo de un segundo elemento, las mismas n partes en peso, o bien que el átomo del segundo elemento pese n unidades más que antes. La ley de la conservación del peso puede considerarse como un caso especial de la ley de la conservación de la fuerza o del movimiento.

Probablemente, el peso será causado por movimientos de tipo especial de la materia y no hay razón alguna para negar la posibilidad de una transformación de estos movimientos, al formar átomos elementales, en energía química o cualquier otra forma de movimiento. Dos de las propiedades observables actualmente en los elementos – el peso atómico constante y la imposibilidad de descomposición – se encuentran hasta ahora en íntima, incluso histórica, relación. Por ello, si un elemento conocido pudiera descomponerse o formar uno nuevo, podrían, quizás, estas manifestaciones ir acompañadas por un aumento o disminución del peso. De este modo podría, hasta cierto punto, explicarse también la diferencia de energía química de distintos elementos. Al expresar aquí estas reflexiones pretendo con ello haber dicho solamente que existe alguna posibilidad de poner de acuerdo la opinión discretamente abrigada por los químicos acerca de la naturaleza compuesta de los elementos con la no admisión de la hipótesis de Prout.

3. COMENTARIOS AL TEXTO

No hay duda de que al leer estas líneas le viene a uno a la mente la ecuación de Einsten, formulada treinta años después y se admira de la genialidad de Mendeleiev; así lo hacen los tres autores citados anteriormente, que comentan los escritos de Mendeleiev. Sin embargo al leer el texto con atención nos damos cuenta de que nuestro autor no habla nunca de la masa sino del peso; al mismo tiempo, cuando habla de la ley de la conservación del peso, la equipara con la ley de la conservación de la fuerza o del movimiento. Con todo, al hablar de la fuerza y del movimiento, a menudo los hace prácticamente sinónimos del concepto de energía. Desde esta óptica es perfectamente lógica la afirmación de Mendeleiev sobre la posibilidad de la transformación del peso en energía; sin embargo nunca habla de la posibilidad de la transformación de la masa en energía, como afirmará más tarde la ecuación de Einstein. Tanto Roginskii como Kedrov, cuando citan a Mendeleiev, utilizan indistintamente las palabras masa y peso, como si en la mente de nuestro autor se tratara de

conceptos sinónimos, cuando en realidad nuestro autor habla siempre del peso y sólo en contadas ocasiones, en contextos totalmente distintos, utiliza la palabra masa; esta confusión terminológica les lleva a ambos a afirmar que Mendeleiev se avanzó a Einstein en más de treinta años en la formulación matemática: $E = \Delta m \cdot c^2$. Esta afirmación nos parece del todo exagerada

Nuestra opinión sobre este punto deriva del concepto de peso, expuesta claramente por Mendeleiev cuando habla de que «*el peso probablemente está causado por movimientos de tipo especial de la materia*». Si esto es así, no hay motivo alguno para negar la posibilidad de transformar un tipo de movimiento en otro, es decir, no hay motivo alguno para negar, por ejemplo, la posibilidad de transformar el peso en energía cinética. Nuestro punto de vista es que el autor se asustó del carácter profundamente novedoso y revolucionario de su intuición y se paró en un término medio en el que únicamente postulaba la posibilidad de transformación de un tipo desconocido de movimiento de la materia (el peso) en otro ya conocido (la energía). En este sentido opinamos que Mendeleiev al hablar de peso y no de masa se aleja notablemente de la ley de Einstein, sin negar la genialidad de la intuición de fondo que, por una razón de lo que podríamos llamar *vértigo científico* no se atrevió a llevar hasta las últimas consecuencias. Excluimos totalmente de su postura los condicionantes ideológicos que le atribuyen sus comentaristas y que él posiblemente no conoció o si los conoció, le importaron muy poco, dado su carácter profundamente independiente.

Después de lo comentado, no queremos terminar estas consideraciones sin citar unos fragmentos de Kedrov y Roginskii, que llenan de admiración por su a priori ideológico.

Después que en los comentarios sobre los textos de nuestro autor habla indistintamente del concepto de masa y del concepto de peso de los elementos, Kedrov afirma solemnemente: «*Mendeleiev en ninguna parte habla de la transformación de la masa material en energía; distingue y no identifica entre el propio peso como propiedad de la masa y la masa como portador físico y material de esta propiedad física (el peso)*». Y añade más adelante: «*Esto de ninguna forma significa que Mendeleiev admitiera la transformación de masa en energía o de materia en energía, como lo admitían los idealismos mecanicistas, espiritistas y otros. Mendeleiev fue un militante del materialismo y un decidido luchador contra todos estos petimetres que siguen corrientes idealísticas*». Y acaba solemnemente: «*Mendeleiev reafirmó la falsedad de la transformación de la masa material y también de la materia en energía y con espíritu materialista y a la vez con una confesión dialéctica de la continuidad de materia y movimiento afirma de forma clara la unidad indestructible de masa y energía*».

Parece imposible que imperativos ideológicos de determinado sistema político obliguen a un prestigioso científico a negar lo que había escrito unas páginas antes en el mismo trabajo, cuando citando a Mendeleiev decía: «*El desprendimiento de energía en la formación de átomos pesados a partir de otros más sencillos está relacionado con la pérdida total de peso del fragmento de materia*». En resumen, el trabajo en su conjunto se encamina a demostrar que Mendeleiev, una gloria de Rusia, era un acérrimo defensor del materialismo dialéctico.

Por su parte Roginskii fue más sobrio en su escrito: afirma que Mendeleiev fue un claro precursor de la ley de Einstein y que algunas interpretaciones desviacionistas se deben a un científico de la época, S. Krusk, que en 1874 mezcló las ideas de Mendeleiev, todas de origen experimental «*con construcciones especulativas que reflejan su tendencia anticientífica, llena de mistificaciones filosóficas teóricas. En este contexto los científicos de más pres-*

tigio se pusieron al lado de Mendeleiev, consecuentes con el materialismo y activos enemigos del espiritismo místico y otras infundadas especulaciones». Es de notar que entiende por este espiritismo la idea de la desaparición en un proceso de cierta cantidad de materia con la consiguiente aparición de la correspondiente cantidad de energía. También aquí parece aflorar la ideología política imperante entonces en Rusia.

4. APÉNDICE

Para finalizar este trabajo queremos comentar algunas predicciones en la teoría de Mendeleiev, de menor importancia, pero que, en nuestra opinión, merecen un poco de atención.

En primer lugar, al descartar la hipótesis de Prout, dice nuestro autor: «En sentido práctico dicha hipótesis está limitada hasta tal punto que sólo afecta a una pequeña parte del comportamiento general. Nuestras determinaciones corrientes de pesos atómicos, a menudo concuerdan, como máximo, hasta un 20% del valor total, entre 5 y 6 unidades, mientras que en la hipótesis de Prout la cuestión es sólo de décimas». Es decir, según él, la hipótesis de Prout de los números enteros en la práctica es poco aplicable porque admite variaciones únicamente del orden de las décimas y en realidad los errores experimentales al calcular pesos atómicos son del orden de varias unidades. En esta afirmación aparece evidente el desconocimiento de la existencia de los isótopos –átomos de igual comportamiento, pero con peso atómico distinto– existencia que ya había insinuado Marignac el admirado maestro de Mendeleiev y que él no quiso escuchar.

Por otra parte, Mendeleiev, al hablar de las variaciones de peso en los procesos químicos, para razonar su rechazo de la hipótesis de Prout, las explica, con una gran visión de futuro, por los desarrollos energéticos que acompañan a los citados procesos. Sin embargo, los valores de esta energía, generada por procesos que afectan al núcleo, (como calculará Einstein más tarde) serán muy superiores, en varios órdenes de magnitud, a los valores de energía asociada a las reacciones que Mendeleiev conocía en su tiempo; estos valores de ningún modo eran capaces de explicar variaciones de peso, ni siquiera del orden de las décimas. Por ejemplo: la variación de 0,1 unidades de masa atómica representa aproximadamente 10^{10} Kjouls de energía, un valor extremadamente superior a los valores corrientes de energía de reacción, conocidos por Mendeleiev, que se mueven entre 10^2 y 10^3 Kjouls por mol de sustancia reaccionante.

En segundo lugar queremos comentar la observación que hace el autor sobre la variación gradual que sufren las diferencias de peso atómico de dos elementos sucesivos dentro del mismo grupo de su Tabla. Dice Mendeleiev un poco más adelante: «Es difícil de admitir que la gradual disminución de las diferencias sea sólo cuestión de casualidad. Más bien hay que presuponer que la relación de Pt a Pd no es exactamente igual que la de Bi a Sb, por lo cual las diferencias tampoco pueden ser las mismas. Entre Bi y Sb puede mostrarse toda una serie de distinciones individuales

en las propiedades que están relacionadas con pequeñas desviaciones de las diferencias de los pesos atómicos... Por consiguiente, en las diferencias de los valores de los pesos atómicos de los elementos, en el caso de miembros correspondientes en el Sistema, necesariamente hay que aceptar una concordancia aproximada; sin embargo, al mismo tiempo, son perceptibles también desviaciones individuales en las diferencias. Conforme a eso, deben ser también aceptadas en los elementos propiedades generales, que están en dependencia de los pesos atómicos (p. e. la capacidad de dar determinadas formas de oxidación que, de por sí, se modifica gradualmente) y propiedades individuales, relacionadas con las desviaciones antes mencionadas».

Esta última afirmación merece toda nuestra atención ya que por una parte refleja el espíritu científico del autor que antepone el hecho experimental a cualquier teoría; pero, por otra parte se opone diametralmente a la convicción fundamental de Mendeleiev de que todas las propiedades de los elementos están asociadas a su peso atómico. Aquí hay unas propiedades generales que dependen del peso atómico y otras propiedades, las individuales, cuyo origen desconocemos. En este punto, de nuevo, descubrimos al Mendeleiev profeta, que deja la puerta abierta para que otros científicos en el futuro puedan dar una explicación de unos hechos que él experimenta, pero que no sabe cómo explicar.

Finalmente, en tercer lugar, queremos hacer notar que nuestro autor admite la posibilidad de la rotura del átomo (palabra cuyo sentido etimológico es precisamente *¡el que no se puede romper!*). Esta postura valiente y heterodoxa constituirá de nuevo una predicción profética cuyo cumplimiento tendrá lugar 70 años más tarde.

En definitiva, para terminar este trabajo, queremos destacar que las predicciones de Mendeleiev fueron el fruto de una inteligencia excepcional, de un minucioso carácter observador y de una actitud humilde frente a la naturaleza; ante ella se sintió desbordado y lo único que hizo fue lanzar hipótesis de futuro que en su mayoría se fueron cumpliendo. Los científicos geniales descubren muchas cosas por casualidad, pero resulta que en general esta casualidad no se da en los investigadores mediocres.

5. BIBLIOGRAFÍA

- (1). J. Rus.: *Chem. Soc.* 1 (1869).
- (2). *Annalen der Chemie und Pharmacie* VIII. Supplementband (1871).
- (3). J. M^a Llinàs y L. Victori: «Clàssics de la Química 2». Societat Catalana de Química (2005).
- (4). «Expresión tomada del título de un libro del mismo nombre», publicado por P. Román Polo en editorial Nivola, Madrid 2002.
- (5). *Uspekhi Khim*, 20 (1951).
- (6). *Vest. Acad. Nauk Kazakh*. (1953).
- (7). *Isis* 60 (1969).