

La tabla periódica de los isótopos. Incertidumbre en la determinación y expresión de los pesos atómicos

Javier García Martínez

Resumen: Coincidiendo con el Año Internacional de la Química, la IUPAC anuncia la publicación de una nueva versión de la tabla periódica en la que, por primera vez, el peso atómico no vendrá dado por un único número sino por un intervalo. Este nuevo formato es más adecuado para representar el peso atómico que, en algunos casos, no es una constante de la naturaleza, sino un valor dependiente de la abundancia relativa de los isótopos de un elemento. Este cambio afecta a algunos elementos importantes como el hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno. Además, la IUPAC ha anunciado la publicación de la tabla periódica de los isótopos en la que aparecerá, en la casilla de cada elemento, la abundancia relativa de sus isótopos estables en un gráfico circular.

Palabras clave: Tabla periódica, átomo, peso atómico, isótopo, enseñanza de la química.

Abstract: On the occasion of the International Year of Chemistry, IUPAC announces the publication of a new version of the periodic table in which, for the first time, the atomic weights are given not by a single value but an interval. This new format is more suitable to represent a quantity which, in some cases, is not a constant of nature, but a measurement dependent on the relative abundance of isotopes of an element. This change affects to some important elements such as hydrogen, carbon, nitrogen and oxygen. Moreover, IUPAC has announced the publication of the periodic table of isotopes which includes in the box of each element the relative abundance of its stable isotopes in a pie chart.

Keywords: Periodic table, atom, atomic weight, isotope, chemistry education.

Uno de los gestos más cotidianos que hacemos los químicos es acudir a la tabla periódica para recordar el peso atómico de algún elemento que hemos olvidado. Sin duda, los valores que aparecen en la mayoría de las tablas periódicas, o en los apéndices de muchos libros de texto, nos inducen a pensar que los pesos atómicos son constantes de la naturaleza como lo son la masa del electrón o la velocidad de la luz. Pero no es así. Los científicos del siglo XIX, que pensaban que cada elemento tenía un peso atómico determinado se afanaron en ordenarlos en función de este parámetro para así encontrar la razón de la periodicidad de propiedades que observaban en algunos de ellos. Como es bien sabido, fue Mendeléiev el primero que se dio cuenta de que además había que dejar espacios en blanco para aquellos elementos que aun no se habían descubierto e invertir el orden cuando fuera necesario, como por ejemplo en el caso del Co y del Ni.

Hubo que esperar algunos años, hasta el descubrimiento de los isótopos a comienzos del siglo XX, para entender por qué algunos elementos con números atómicos más altos tienen pesos atómicos más bajos. Por ejemplo el Ni tiene un número atómico más alto que el Co pero un peso atómico más bajo. Precisamente, la existencia de varios isótopos estables en algunos elementos explica este comportamiento aparentemente caprichoso; razón

por la que la IUPAC acaba de presentar una nueva versión de la tabla periódica en la que se enfatiza que el peso atómico no es una constante para la mayoría de los elementos químicos.

Para entender bien a qué se debe la variación del peso atómico de un elemento y por qué esta variación no ocurre siempre es necesario distinguir entre cuatro tipos de elementos.

1. *Los elementos que sólo presentan un isótopo estable*, como por ejemplo el arsénico, que sólo existe como ^{75}As (33 protones y 42 neutrones). Su peso atómico es una constante de la naturaleza que se conoce con una precisión mayor de una parte por millón. Existen un total de 21 elementos con un solo isótopo estable.
2. *Los elementos que presentan varios isótopos estables*, pero cuya variación en el peso atómico es menor que la precisión con la que se puede medir esta propiedad, por ejemplo el mercurio.
3. *Los elementos que presentan varios isótopos estables* y cuya variación en el peso atómico es mayor que la precisión con la que éste se puede medir, por ejemplo el cloro.
4. *Los elementos que no presentan ningún isótopo estable*. Este grupo incluye los elementos radiactivos como el americio.

En el primer caso, para aquellos elementos que sólo presentan un isótopo estable, el peso atómico es una constante que coincide con la suma de la masa de protones y neutrones (valor al que llamamos masa atómica) y por lo tanto éste es el valor que debe aparecer en la tabla periódica. Los elementos de los grupos 2 y 3 tienen más de un isótopo estable y por lo tanto su peso atómico dependerá de la abundancia relativa de estos isótopos en la naturaleza. Si la variación en el peso atómico es menor que la precisión con la que podemos hacer la medida (grupo 2) está bien claro que el valor que debe aparecer en las tablas periódicas es el de la



J. García Martínez

Departamento de Química Inorgánica.
Universidad de Alicante, 03690 Alicante.
C-e: j.garcia@ua.es

Recibido: 31/01/2011. Aceptado: 14/03/2011.

medida (ya que las variaciones no serán observables con los equipos actuales). Sin embargo, en el caso de los elementos en los que la variación de la medida de su peso atómico es mayor que la precisión con la que podemos hacer la medida (grupo 3) es necesario indicar el intervalo de valores observados. Es precisamente este intervalo de valores el que va a aparecer ahora en la nueva versión de la tabla periódica en la que, por ejemplo, el peso atómico del hidrógeno deja de ser 1,00794 (7) para convertirse en [1,00784; 1,00811] indicando que, según el origen de la muestra de hidrógeno, su peso atómico puede variar entre 1,00784 (valor medido más bajo) y 1,00811 (valor medido más alto). Los diez elementos cuyo peso atómico aparece en la nueva versión de la tabla periódica como un intervalo de valores [valor más bajo; valor más alto] se recogen en la Tabla 1.¹ En cuanto a los elementos del grupo 4, no aparecerá ningún valor indicando su peso atómico, ya que no presentan ningún isótopo estable.

Tabla 1. Elementos cuya variación en el valor del peso atómico es mayor que la precisión con la que puede realizarse la medida. Formato anterior y actual para indicar el intervalo en los valores de los pesos atómicos de estos elementos.¹

Elemento	Formato anterior	Nuevo formato
Hidrógeno	1,00794 (7)	[1,00784; 1,00811]
Litio	6,941 (2)	[6,938; 6,997]
Boro	10,811 (7)	[10,806; 10,821]
Carbono	12,0107 (8)	[12,0096; 12,0116]
Nitrógeno	14,0067 (2)	[14,00643; 14,00728]
Oxígeno	15,9994 (3)	[15,99903; 15,99977]
Silicio	28,0855 (3)	[28,084; 28,086]
Azufre	32,065 (5)	[32,059; 32,076]
Cloro	35,453 (2)	[35,446; 35,457]
Talio	204,3833 (2)	[204,382; 204,385]

La IUPAC indica cuatro razones para proceder a este cambio en la manera de indicar el peso atómico de los elementos químicos:

1. En el formato anterior, por ejemplo 1,00794(7) para el hidrógeno, el valor de la incertidumbre (indicado entre paréntesis) podría malinterpretarse como la incertidumbre en la medida del valor, cuando en realidad, se debe a la variación del valor mismo.
2. Es prácticamente imposible encontrar una muestra de un elemento con un valor de peso atómico idéntico al valor que aparece en el formato anterior. Por ejemplo, sería muy difícil disponer de una muestra de hidrógeno con un valor de 1,00794.
3. La variación del valor del peso atómico no sigue una distribución gaussiana y no presenta una distribución bimodal para algunos elementos como el boro o el azufre. Por lo que no es posible obtener el valor “medio” del peso atómico calculando la media aritmética de los valores mínimo y máximo.

4. Los valores de los pesos atómicos deben actualizarse regularmente para incorporar las medidas más precisas realizadas.

En muchos casos, es necesario utilizar un solo valor de peso atómico que sea representativo de un elemento. En el caso del grupo 3, como hemos señalado anteriormente, no es posible obtener este valor realizando la media de los valores menor y mayor del intervalo mostrado en la Tabla 1, ya que la distribución de valores no es simétrica ni tiene por qué estar centrada en el valor medio del intervalo indicado. Para estos casos, la IUPAC recomienda usar los valores convencionales de los pesos atómicos, que tienen menos cifras significativas, y que son los que aparecen, por ejemplo, en la versión de la tabla periódica de la IUPAC del 19 de febrero de 2010.²

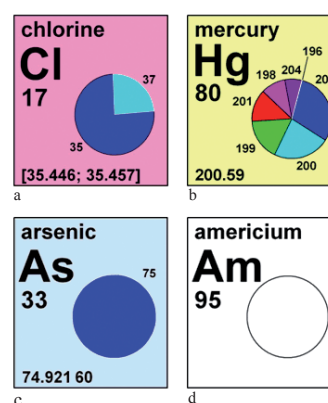


Figura 1. Representación de las casillas correspondientes a cuatro elementos químicos de la nueva tabla periódica de la IUPAC. a) Elemento cloro, que presenta una variación en su peso atómico mayor que la precisión con la que puede medirse este valor. En este caso, el peso atómico se indica como un intervalo de valores [valor más bajo; valor más alto] siguiendo la nueva recomendación de la IUPAC. b) Elemento mercurio, que presenta una variación de peso atómico menor que la precisión con la que puede medirse este valor y por lo tanto el valor indicado es el de la medida. c) Elemento arsénico, que sólo presenta un isótopo estable y, por lo tanto, y sólo en este caso, el peso atómico, que coincide con la masa atómica, es una constante de la naturaleza. d) Elemento americio, un elemento radiactivo que no presenta ningún isótopo estable y por lo tanto no es posible obtener su peso atómico.

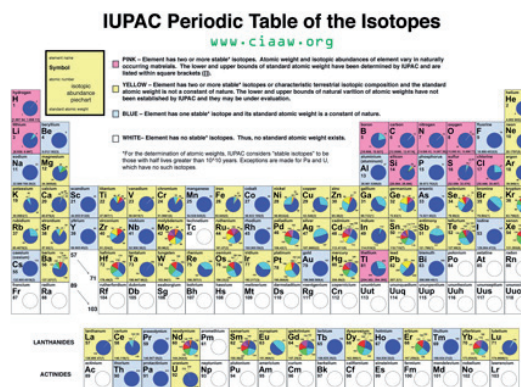


Figura 2. Nueva tabla periódica de los isótopos.⁴

Coincidiendo con la presentación de la nueva versión de la tabla periódica y con ocasión del comienzo del Año Internacional de la Química, la IUPAC presenta una tabla periódica de los isótopos de los elementos en la que se muestra la abundancia relativa de los distintos isótopos de cada elemento en un gráfico circular.³ Este es un proyecto conjunto de la División de Química Inorgánica y del Comité de Educación Química de la IUPAC que pretende servir como material educativo para resaltar la presencia de isótopos en los elementos y su papel en la determinación de su peso atómico. En la Figura 1, aparecen las casillas de cuatro elementos pertenecientes cada uno a un grupo de los que hemos señalado antes y en la Figura 2 se muestra la nueva tabla periódica de los isótopos recientemente publicada en la página web de la Comisión de Pesos Atómicos y Abundancias Isotópicas.⁴

Por su interés se incluye aquí, la traducción al español de las directrices para la determinación y uso de los intervalos de peso atómico de la IUPAC.¹

Directrices para los intervalos de peso atómico

1. La variación en los valores de peso atómico, $A_r(E)$, de un elemento E se denomina intervalo de peso atómico y se representa con el símbolo $[a, b]$, donde a y b son, respectivamente, los límites inferior y superior del intervalo, por lo que, para el elemento E , $a \leq A_r(E) \leq b$.
2. El peso atómico estándar de un elemento, expresado en un intervalo $[a, b]$, no debe expresarse como la media de a y $b \pm$ la mitad de la diferencia entre b y a .
3. El intervalo y el rango de los pesos atómicos no deben confundirse. El rango del peso atómico es $b - a$, donde a y b son los límites inferior y superior, respectivamente.
4. Los límites inferior y superior normalmente se determinan utilizando la espectrometría de masas de los materiales, teniendo en cuenta las incertidumbres de las medidas además de la incertidumbre de la "mejor medida" de la abundancia isotópica de un elemento utilizado en los pesos atómicos publicados en 2007.
5. El intervalo de peso atómico abarca los valores de todos los materiales medidos.
6. Tanto el límite superior como el inferior son valores de consenso y no tienen ninguna incertidumbre asociada a ellos.
7. El intervalo de peso atómico es el peso atómico estándar, que es el mejor de los pesos atómicos de fuentes naturales terrestres.
8. El número de cifras significativas en los límites inferior y superior se ajustarán de manera que las incertidumbres de las medidas de espectrometría de masa no afecten a esos límites.
9. El número de cifras significativas en los límites inferior y superior deben ser idénticos. Un cero como una cifra final en un valor puede ser necesario y es aceptable.

10. El intervalo de peso atómico se elige de forma conservadora para que los cambios en la tabla de pesos atómicos sean poco frecuentes. Por lo tanto, la *Comisión de Pesos Atómicos y Abundancias Isotópicas* de la IUPAC puede recomendar medidas más conservadoras y puede reducir el número de cifras significativas.
11. El intervalo de peso atómico se da con la mayor precisión posible y debe tener tantos dígitos como sea posible, de conformidad con las normas previamente establecidas.
12. Los valores de los intervalos de peso atómico se actualizan en la tabla oficial de la *Comisión de Pesos Atómicos y Abundancias Isotópicas* tras la finalización de un proyecto de la IUPAC en el que se revisan los datos de abundancia isotópica publicada en la bibliografía revisada por expertos.
13. Si la variación en la composición isotópica de los materiales normales de un elemento se encuentra bajo evaluación por parte de un proyecto de la IUPAC, pueda incluirse una nota al pie $[r]$ en la tabla oficial de pesos atómicos hasta que el proyecto finalice su evacuación, con el objetivo de que los cambios en las tablas periódicas sean poco frecuentes. En la actualidad, estos elementos incluyen el He, Ar, Ni, Cu, Zn, Se, Sr y Pb.

Tanto los cambios en la forma de representar el intervalo de pesos atómicos de un elemento como la próxima publicación de la tabla periódica de los isótopos son dos buenos ejemplos del esfuerzo que la IUPAC está realizando para mejorar la forma de presentar la información contenida en la tabla periódica y, más concretamente, por informar sobre la importancia de la abundancia relativa de isótopos en las propiedades de los elementos. Estas dos iniciativas coinciden con el comienzo del Año Internacional de la Química y serán presentadas y promovidas durante las distintas actividades que se realizarán en 2011.

Bibliografía

1. T. B. Coplen, N. E. Holden, Atomic Weights –No Longer Constants of Nature– *Chem. Int.* **2011**, 33(3), 10–15. <http://bit.ly/fIYQUO>, visitada el 12/05/2011.
2. Web de la IUPAC con distintas versiones de la tabla periódica <http://bit.ly/gLLcJY>, visitada el 28/01/2011.
3. Proyecto IUPAC para el desarrollo de una tabla periódica de los isótopos para la comunidad educativa. <http://bit.ly/gBwvAG>, visitada el 28/01/2011.
4. Web de la *Comisión de Pesos Atómicos y Abundancias Isotópicas* de la IUPAC. <http://ciaaw.org/>, visitada el 28/01/2011.

Para saber más:

- D. Harries, Mass Migration: Chemists Revise Atomic Weights of 10 Elements, *Scientific American*. <http://bit.ly/g2nhKh>, visitada el 28/01/2011.
- N. Holden, A Weighty Change to the Periodic Table, Brookhaven bits and bytes, el blog del Brookhaven National Laboratory. <http://bit.ly/e2G5N6>, visitada el 28/01/2011.
- M. E. Wieser, Tyler B. Coplen, Atomic weights of the elements 2009 (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.*, **2011**, 83(2), 359–396. <http://bit.ly/f7Fcs2>, visitada el 3/3/2011.