

Algunas reflexiones sobre tablas periódicas, algo periódicas y nada periódicas

José Antonio Martínez Pons

Resumen: En el año 2019 se han celebrado los 150 años de la publicación de la tabla periódica de Mendeléyev. Su forma y contenido ha evolucionado pero lo fundamental, ordenar los elementos según unas propiedades y las semejanzas de comportamiento químico, se han mantenido. Ha habido actos, publicaciones, etc., a veces con poco que ver con la química, limitándose a ordenar entes según alguna de las formas típicas de la tabla, pero sin justificación; sobre todo, ignorando la periodicidad de propiedades. En este trabajo se comentan algunos de estos casos y se proponen algunos ejemplos.

Palabras clave: Tabla Periódica. Periodicidad de propiedades. Quiritmética. Analogía con la tabla periódica. Periodicidad en la escala cromática musical.

Abstract: In 2019, the 150th year of the publication of Mendeleev's periodic table has been celebrated. Its form and content has evolved but fundamentally, sorting them elements according to properties and similarities of chemical behaviour, have been maintained. There have been acts, publications, etc. sometimes with little to do with chemistry just sorting itself according to one of the typical forms of the table, but without justification, especially ignoring the periodicity of properties. This work discusses some of these cases and proposes some examples.

Keywords: Periodic Table. Periodicity of properties. Quiritmatics. Analogy with the periodic table. Periodicity on the musical chromatic scale.

INTRODUCCIÓN

Guardar y exponer datos científicos y de otras materias en forma de tabla es una herramienta muy utilizada, permite resumir en poco espacio un gran número de datos y además establecer relaciones entre los diferentes entes que la integran. Si la tabulación se hace de acuerdo con determinadas propiedades de estos objetos y estas se reflejan en la propia tabla, la utilidad es todavía mayor, tanto desde el punto de vista tanto informativo como didáctico.

En el año 2019 se ha cumplido el sesquicentenario de la publicación por D. I. Mendeléyev de su tabla periódica, a partir de ahora "TP". En estos 150 años de la TP muchos de los conceptos que originaron sus primeras versiones han evolucionado. También la idea de átomo ha variado; hoy en día se acepta sin discusión por la comunidad científica, pero hace siglo y medio no era así, por ejemplo, Ernst

Mach (1838-1916), filósofo y físico, murió sin aceptar el átomo; sin embargo la idea de una ordenación de los distintos elementos en una tabla siguiendo el orden dado por una magnitud física medible y característica, y agrupando en cada columna los elementos con una semejanza en algunas de sus propiedades físicas o químicas, sigue siendo vigente. A lo largo de estos años la tabla se ha presentado de muy diversas formas. Este trabajo se basará en la "forma larga", posiblemente la más práctica por claridad y dimensionado y que, además, permite en cada casilla incluir, debidamente codificada, mucha información de cada elemento. Su forma no es arbitraria sino que responde a unos objetivos que se verán más adelante.

Al hilo de la efeméride se han publicado trabajos con mayor o menor profundidad, se han llevado a cabo actos conmemorativos a todos los niveles y ha habido decenas de concursos relacionados con la TP, todo con la sana y laudable idea de hacerla llegar al mayor número de personas y sobre todo despertar o acrecentar, en los más jóvenes especialmente, el interés por la ciencia y en particular por la química¹.



Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, Reales Sociedades Españolas de Física y de Química, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid
C-e: jamartinez46@gmail.com

J. A. Martínez Pons

Recibido: 18/01/2020. Aceptado: 12/02/2020.

¹ No es mi intención entrar en disquisiciones sobre si la TP es asunto de químicos o de físicos, ni siquiera cómo, por qué y por quién se acepta un nuevo elemento, pero lo que es claro es que D. I. Mendeléyev para construir su(s) tabla(s) se basó fundamentalmente en la química de los elementos.

TABLAS DE TODO TIPO, PERO CASI TODAS CON LA MISMA FORMA

Por circunstancias que no vienen al caso he visto varios centenares de tablas (Figura 1), por ejemplo 200 que se presentaron a un concurso escolar organizado desde un grupo especializado común a las RSEF y RSEQ.^[1,2] Muchas de ellas eran originales, otras muy elegantes, algunas eran obras de arte, otras aportaban informaciones interesantes sobre los distintos elementos, en algunas hasta se incluían muestras de muchos de ellos, también había bastantes “variaciones sobre el mismo tema” y otras eran, a juicio de quien esto escribe, “simplezas” sin demasiado sentido. Al menos estas TP hacían o pretendían hacer referencia a la química y al sentido de lo que se estaba conmemorando; podía pues darse por sabido que quienes idearon estas TP entendían su contenido: los elementos químicos ordenados según algunas de sus propiedades. Pero, “visto lo visto”, es muy poco probable que la mayoría, sobre todo alumnos de enseñanzas no universitarias, pese al esfuerzo e ingenio demostrados, tuvieran las ideas demasiado claras, especialmente en lo que significa “periódica” y por qué la TP era así y no de otra forma. Pero al idear y sobre todo construir, a veces con arte y habilidad una tabla periódica los alumnos se familiarizaron con la misma, con los nombres, los símbolos químicos y con algunas propiedades de los elementos. Otras, sin embargo, utilizaban la presentación de la TP para representar las más extrañas y peregrinas cosas, como “elementas” y otros neologismos no admitidos por la RAE, ortografía, poesías e ideas diversas de lo más variopinto, pero que nada tienen nada que ver, ni siquiera por analogía, con la química y por tanto con lo básico y fundamental de la TP ni, por supuesto, insisto, con la periodicidad de algunas propiedades de los entes representados. ¿Por qué se elegía esta forma de tabla? No sabría decirlo ni los autores de los trabajos lo justificaban. No se argüía ninguna razón para representar los objetos en una determinada composición gráfica, justamente la de la TP “larga”, con sus 118 escaques, distribuidos según 7 filas, 18 columnas más dos filas de 14 casillas como suplemento, tal vez buscando alguna



Figura 1. Algunas tablas periódicas incluida una taza decorada con ella

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

	Tl = 50	Zr = 90	? = 180.		
	Y = 51	Nb = 94	Ta = 182.		
	Cr = 52	Mo = 96	W = 186.		
	Mn = 55	Rb = 104,4	Pt = 197,4		
	Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.		
	Ni = Co = 59	Pi = 106,6	Os = 199.		
H = 1	Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200		
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112		
B = 11	Al = 27,4	? = 68	Cr = 116	Au = 197?	
C = 12	Si = 28	? = 70	Su = 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.

Figura 2. Primera versión de la tabla de Medelév.^[3] Los elementos se clasifican en 19 filas y 6 columnas. La semejanza se da entre los elementos de las filas, no como actualmente

analogía con la representación meramente gráfica de la TP o tal vez para justificar presentar sus trabajos a un concurso de TP, viniera o no a cuento su contenido.

¿CÓMO ORGANIZÓ MENDELÉYEV LOS ELEMENTOS CONOCIDOS EN SU TIEMPO?²

Creo que este tema es fundamental.^[3] Recordemos (Figura 2) que Mendelév ordenó en principio los elementos conocidos según su “peso atómico” pero su audacia consistió en ordenarlos en filas y columnas de modo que en la ordenación elegida algunas propiedades de los elementos fuesen modificándose de acuerdo con una periodicidad cuya razón ignoraba y colocó en las filas (grupos) elementos con propiedades semejantes. En siguientes versiones permutó filas y columnas, pero siempre con la misma idea básica, de modo que los elementos de una misma fila o columna, según la versión, presentaran una semejanza de propiedades químicas. Y se atrevió a dejar espacios vacíos en su tabla suponiendo que estos lugares se ocuparían por

² De intención no se hace referencia a leyendas de los naipes con los elementos que se dice que utilizó Mendelév para sus ensayos de tabla periódica.

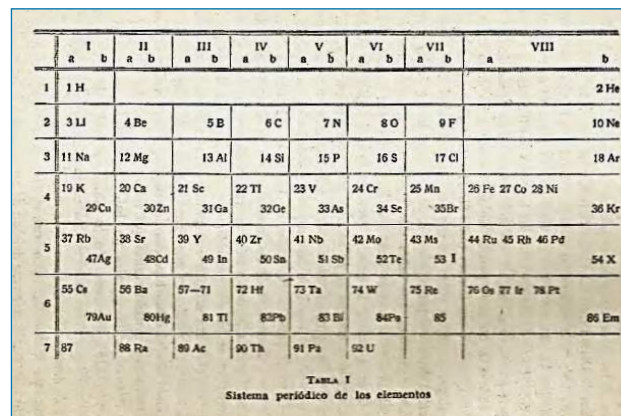
elementos que todavía no se habían descubierto. Incluso alteró el orden de algunos pares de elementos en la presunción de que los métodos de medida de los respectivos “pesos atómicos” requerían refinarse y, al medir con mayor exactitud, se justificaría el cambio de orden, siempre buscado que los elementos de un mismo grupo presentaran semejanza de propiedades. Tampoco tuvo empacho en modificar la longitud de los períodos, puesto que para él lo básico era ordenar los elementos en familias, de modo que ciertas propiedades se repitieran periódicamente y así, a la primera versión de su trabajo la denominó *Ensayo de sistematización de los elementos sobre la base de sus pesos atómicos y de sus semejanzas químicas*, toda una declaración de principios. Además, a diferencia de Lothar Meyer, su más directo competidor en la idea de tabular los elementos químicos, se atrevió a predecir 10 nuevos elementos a los que atribuyó un nombre relacionado con los elementos conocidos más próximos en su tabla mediante la asignación de los prefijos tomados del sánscrito *eka* (primero) y *dwi* (segundo), es de suponer que de modo provisional en espera de que quien los aislara les diera un nombre definitivo³. Su tabla adquiriría pues un carácter predictivo, importante en el método científico.

En este punto conviene recordar que, en realidad, Mendeléyev ordenó los elementos más que por su peso atómico, por el “peso de combinación” y en cualquier caso su ordenación encubría un criterio más profundo, el número atómico (Z , número de protones en el núcleo) que coincide con los electrones de la corteza del átomo respectivo, a la larga responsables de la química de los elementos, como se descubrió años más tarde. Esto Mendeléyev lo ignoraba, como ignoraba la razón de la repetición de propiedades, pero de los diez elementos que predijo se han descubierto siete, se ha sintetizado uno, el *eka-manganeso*, hoy *tecnecio* $Z=43$ y dos más no pueden existir porque en la tabla actual, en la que los elementos se ordenan según su número atómico, no tienen lugar (*el dwi-cesio y el eka-niobio*).

Mendeléyev no se contentó con conjeturar la existencia de esos elementos sino que, por comparación con las de los elementos próximos al lugar que les asignó, predijo algunas de sus propiedades físicas y químicas, obteniendo casi asombrosos aciertos. Valga como ejemplo la concordancia entre el *eka-silicio* previsto en 1871 por Mendeléyev y el *germanio*, $Z=32$, descubierto en 1886 por Winkler^[3,4], lo que confirmaba la validez de sus ideas. Su intuición química había “dado en el clavo”, al menos de un modo aproximado, en sus predicciones.

Investigaciones posteriores han hecho que la inversión en el orden, por ejemplo del *yodo*, de masa atómica 126,90 y $Z=53$, y el *telurio*, de masa atómica 127,6 y $Z=52$, así como de sus restantes alteraciones de orden, y otras que surgieron al irse descubriendo nuevos elementos, queden justificadas. Habida cuenta de lo que hoy se sabe sobre la

³ Con permiso de la IUPAC, valga como contra ejemplo el elemento 74.



	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1	1 H														2 He	
2	3 Li		4 Be		5 B		6 C		7 N		8 O		9 F		10 Ne	
3	11 Na		12 Mg		13 Al		14 Si		15 P		16 S		17 Cl		18 Ar	
4	19 K		20 Ca		21 Sc		22 Ti		23 V		24 Cr		25 Mn		26 Fe 27 Co 28 Ni	
	29 Cu		30 Zn		31 Ga		32 Ge		33 As		34 Se		35 Br		36 Kr	
5	37 Rb		38 Sr		39 Y		40 Zr		41 Nb		42 Mo		43 Ms		44 Ru 45 Rh 46 Pd	
	47 Ag		48 Cd		49 In		50 Sn		51 Sb		52 Te		53 I		54 X	
6	55 Cs		56 Ba		57-71		72 Hf		73 Ta		74 W		75 Re		76 Os 77 Ir 78 Pt	
	79 Au		80 Hg		81 Tl		82 Pb		83 Bi		84 Po		85		86 Em	
7	87		88 Ra		89 Ac		90 Th		91 Pa		92 U					

TABLA I
Sistema periódico de los elementos

Figura 3. Tabla periódica reproducida en el libro divulgativo de Julio Palacios. Es un ejemplo de tabla “corta”:^[6] el elemento 43, hoy tecnecio, figura como Ms

estructura electrónica, también queda plenamente justificada la forma de la tabla, en la que se aprecian claramente los elementos *s*, *p*, *d* y *f*, y el hecho de la semejanza de las propiedades químicas de los elementos de cada columna, así como las restantes propiedades periódicas. También pueden explicarse muchas de las anomalías de esa periodicidad, como el “efecto *par inerte*”.

La TP tuvo algunos problemas, por ejemplo, cuando se fueron descubriendo los gases nobles que no se conocían cuando Mendeléyev publicó su primera tabla y que no parecían encontrar su lugar en ella. En 1868 Jansen y Lockyer habían descubierto el helio espectroscópicamente. Ramsay aisló el argón en 1896 y el helio poco más tarde. Siguió investigando sobre los gases inertes y en 1898 había aislado el kriptón, el neón y xenón. Por estos trabajos recibió el premio Nobel de Química en 1904.

En 1902 el propio Mendeléyev solucionó el problema con la inclusión de un nuevo grupo (0) que agrupaba los gases nobles. Con todo, la TP “no es perfecta” y aún hoy presenta problemas y suscita discusiones que no es momento de comentar,^[6-11] pero es una herramienta excelente y como tal preside los laboratorios y aulas de química.

En resumen, la forma de la TP, aunque se cuentan por cerca de un centenar sus diferentes presentaciones (Figura 2) no es arbitraria ni se basa simplemente en consideraciones estéticas, sino que se debe a y representa importantes propiedades físicas y químicas de los respectivos elementos que la integran. Esta idea para mí es la característica que precisamente da nombre y sentido a la tabla que ideó Mendeléyev y la diferencia de otras tablas, y cualquier analogía debe tenerlo en cuenta.

En el mundo de la química y la física ha habido más intentos, con mayor o menor éxito, de tabular fenómenos a fin de facilitar su comprensión y relaciones mutuas entre los entes que la integran e incluso de realizar predicciones; por ejemplo la tabla de hidrocarburos propuesta por el coetáneo y admirador de Mendeléyev N. A. Morozov^[13] o las tablas de partículas subatómicas.

UNA TABLA CON APARIENCIA DE PERIÓDICA PERO QUE NO ES PERIÓDICA: LA QUIRITMÉTICA O QUÍMICA DE LOS NÚMEROS PRIMOS

Olvidando las tablas de carácter más o menos pueril, humorístico o divertido con mayor o menor gracia, y que deben interpretarse como lo que son, quiero ahora hablar muy brevemente de una tabla que me ha llamado la atención y que ha suscitado mi interés. No se trata de una de una tabla más, construida sobre los más variopintos temas y sin mucho que ver con la ciencia, sino que está construida con rigor de acuerdo con unas reglas matemáticas. La presenta en su artículo *Quiritmética* el profesor Bartolo Luque, de la Universidad Politécnica de Madrid, en su siempre recomendable sección habitual de la revista *Investigación y Ciencia*.^[12]

La tesis fundamental de la *Quiritmética* es que, del mismo modo que según la química la materia está formada por moléculas y estas por átomos, en aritmética todo número entero y positivo mayor que 1, o es primo o puede representarse como producto único de números primos, y establece una similitud entre los átomos: números primos, y moléculas: números factorizables. Así, cito literalmente al profesor Luque, «la “molécula” 500 está formada por dos “átomos” 2 y tres 5: $500 = 2^2 \cdot 5^3$ ». Apostillo que el 500 sería análogo, por ejemplo, al óxido de hierro(III), Fe_2O_3 , donde el 2 sería como el Fe y 5 como el O y su “fórmula” se escribiría con superíndices⁴ en vez de con subíndices. En el artículo se describen unas operaciones aritméticas a semejanza de las reacciones químicas y otras relaciones matemáticas en las que pueden apreciar transiciones de fase semejantes a las que se encuentran en la física o la química. La reacción básica se produciría cuando se “encontraran” dos números de un conjunto suficientemente amplio, entonces si el mayor fuera divisible por el menor, se sustituiría aquel por el cociente entre el menor. Así, por ejemplo, $(500,50) \rightarrow (10, 50)$, en otro caso, “no reaccionarían”.

No quiero seguir por ahí porque no es el caso y además para su reproducción se necesita disponer de un lenguaje de programación y buenos conocimientos de cálculo por ordenador. Ilustra el artículo con una bonita tabla con el formato de la TP larga, es decir, con los “lantánidos” y “actínidos” en filas separadas, con llamadas a las respectivas casillas 57 y 89. En la tabla se representan ordenados los 118 primeros números primos. Incluso las casillas se presentan en forma de cubos, coloreados con distintos tonos (Tabla 1). La ordenación se hace de acuerdo con los crecientes de los números primos, sin embargo, nada justifica por qué se eligen 118 y por qué se ordenan en determinadas filas y columnas, ni por qué se colorean las celdillas con unos determinados colores y qué representan estos colores. No aparecen en esta tabla “propiedades periódicas” de los números primos y nada relaciona a los números de un mismo grupo o período, salvo el estricto orden numérico.

⁴ Este tipo de notación se puede observar también en química por ejemplo la utiliza José R. Carracido en el texto que una conferencia pronunciada en el Ateneo Madrileño en marzo de 1892.

Tabla 1. Tabla Quiritmética. Se ha construido de acuerdo con la definición dada en [8]

2																	3
5	7											11	13	17	19	23	29
31	37									41	43	47	53	59	61		
67	71	73	79	83	89	97	101	103	107	109	113	127	131	137	139	149	151
157	163	167	173	179	181	191	193	197	199	211	223	227	229	233	239	241	251
257	263	*	359	367	373	379	383	389	397	401	409	419	421	431	433	439	443
449	457	**	563	569	571	577	587	593	599	601	607	613	617	619	631	641	647
		*	269	271	277	281	283	293	307	311	313	317	331	337	347	349	353
		**	461	463	467	479	487	491	499	503	509	521	523	541	547	557	563

DOS EJEMPLOS DE TABLAS PERIÓDICAS QUE NO TIENEN LAS FORMAS TÍPICAS DE TP, NI SON QUÍMICAS, PERO SON TABLAS Y SON PERIÓDICAS

Vista una tabla construida con rigor y con una ordenación definida pero no periódica y tratando de ser constructivo, voy a proponer dos tablas en que sí se aprecia la periodicidad y fácilmente utilizables en el aula, precisamente para explicar lo que la “periodicidad” significa y representa.

Notas musicales en la escala temperada^[13,14]

La escala musical suele ser un ejemplo que se cita de pasada en muchos textos, sin profundizar en él porqué. Aquí conviene mencionar que uno de los primeros intentos rigurosos de ordenación de los elementos fue el de John A. R. Newlands (1837-1898), que observó que agrupando ciertos elementos en octavas, como en la música en cada octava⁵ las propiedades variaban pero, en la siguiente octava, parecían repetirse. Fue una casualidad y además no se aceptó entre otras cosas por demasiado artificiosa.^[6] No tengo constancia de que Newlands fuera músico como fue el caso del químico ruso Alexandr Borodin, amigo de Mendeléyev.

Obviando una disertación sobre teoría musical⁶ recordemos que las notas musicales son una serie de sonidos con unas frecuencias determinadas. Cuando la frecuencia de una nota es el doble de la otra parece que suena de modo semejante. La escala temperada parte de una frecuencia y su doble, y entre ambas se dice que hay una octava; este intervalo de frecuencia se divide en 12 intervalos iguales (escala cromática), a cada intervalo se le llama semitono y,

⁵ Se refiere a la octava de las siete notas naturales, ver más adelante.

⁶ La única formación musical de quien esto escribe es ser gran aficionado a la Música Clásica En la ESO se estudia algo de teoría musical, los estudiantes deberían poder entender y comprobar lo más elemental con un simple teclado.

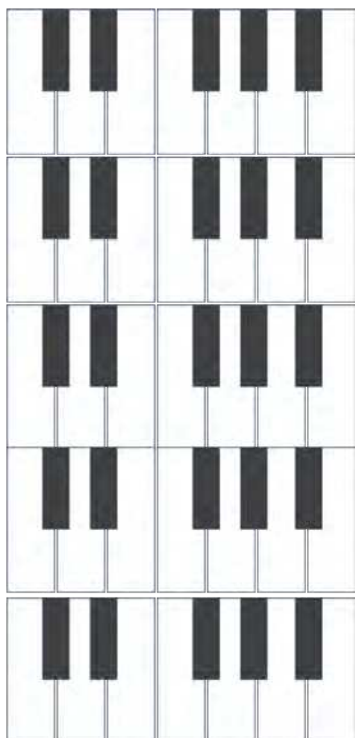


Figura 4. Teclado presentado como tabla periódica

al conjunto, “octava”, que consta de 7 notas naturales (Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si), en el piano las teclas blancas, y 5 semitonos (en un piano, las teclas negras) (Figura 4). Se nombran, en la escala temperada, por el nombre de la anterior sostenida (#) o, lo que es lo mismo en esta escala, la siguiente como bemol (b), así el Do# es equivalente al Re^b. Matemáticamente la frecuencia f de una nota se obtiene mediante la fórmula recurrente:

$$f_n = f_{n-1} \times \sqrt[12]{2} = f_0 \times (\sqrt[12]{2})^n \text{ Hz}$$

Donde n es el número de orden de la nota contando a partir de f_0 .

En general cada nota se designa por su nombre seguido de un número correspondiente a la octava en que se encuentra.

Por convenio, la referencia es la nota La 4, a la que hoy se asigna la frecuencia de 440,00 Hz. No siempre ha tenido este valor. Es fácil comprobar que con este convenio $f_0 = 16,35 \text{ Hz}$. Con este valor y usando Excel se han calculado las restantes frecuencias. Normalmente un piano tiene 88 teclas (7½ octavas) (Figura 5), pero los hay con 61. Simplifiquemos por comodidad a solo 60, es decir, cinco “octavas” y que empiezan en el Do 1, (en los pianos empiezan por el La 0).

Si “aserramos” mentalmente las cinco octavas y las alineamos como en la Figura 4, con un poco de imaginación tenemos una tabla periódica musical gráfica. Cada fila sería una octava (un período) y cada columna un grupo, en él



Figura 5. Teclado de un piano electrónico de 88 teclas. El mecanismo de producción de sonido es diferente del tradicional pero el teclado es el mismo

la frecuencia de cada nota es el doble de la que está encima y la mitad de la que está debajo, y a todas las notas del mismo grupo se les asigna el mismo nombre, indicando a continuación, si es necesario, la octava a que pertenece. Es decir, las notas se repiten con un período de doce notas. En este caso los períodos completos tienen el mismo número de elementos.

En la Tabla 2 se muestran las frecuencias de las notas de las 8 primeras octavas, en rojo o amarillo; se destacan las notas de un piano moderno de 88 teclas. El color, como en muchas de las versiones de la TP representa una propiedad, “pertener al piano” y el fondo de la celda, si es nota natural o semitono. Se puede establecer una analogía con la TP química en la que las notas, ordenadas según sus frecuencias respectivas, serían equivalentes a los diferentes elementos, los acordes equivaldrían a las moléculas, y la formación de acordes podría equivaler a las reacciones químicas. La equivalencia de las notas en la formación de acordes podía ser una propiedad periódica.

Se puede proponer a los alumnos que dibujen una tabla, por ejemplo empezando en Fa 1, y que contenga 3 octavas y dos notas más, agudas. Entonces, debe destacarse que es fundamental que cada octava tenga 12 notas y que



Figura 6. Frecuencia de las notas de las primeras octavas de la escala temperada. Se aprecia la no linealidad en la progresión de frecuencias

Tabla 2. Frecuencia (Hz) de las notas de las nueve primeras octavas. Las celdas oscuras representan los semitonos. Los valores coloreados en rojo o amarillo corresponden a las teclas que se encuentran en un piano de 88 teclas. La analogía con la TP sería mayor si en cada celda se escribiera la nota, además de su frecuencia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Octava	Do	Do#	Re	Re#	Mi	Fa	Fa#	Sol	Sol#	La	La#	Si
0	16,35	17,32	18,35	19,45	20,60	21,83	23,13	24,50	25,96	27,50	29,14	30,87
1	32,70	34,65	36,71	38,89	41,20	43,65	46,25	49,00	51,91	55,00	58,27	61,74
2	65,41	69,30	73,42	77,78	82,41	87,31	92,50	98,00	103,83	110,00	116,54	123,47
3	130,82	138,59	146,84	155,57	164,82	174,62	185,00	196,00	207,66	220,01	233,09	246,95
4	261,63	277,19	293,67	311,13	329,64	349,24	370,00	392,01	415,31	440,01	466,18	493,90
5	523,26	554,38	587,34	622,27	659,27	698,47	740,01	784,01	830,63	880,02	932,35	987,79
6	1046,53	1108,76	1174,69	1244,54	1318,54	1396,95	1480,01	1568,02	1661,26	1760,04	1864,70	1975,58
7	2093,06	2217,52	2349,38	2489,08	2637,09	2793,89	2960,03	3136,04	3322,52	3520,09	3729,40	3951,16
8	4186,11	4435,03	4698,75	4978,15	5274,17	5587,79	5920,06	6272,08	6645,04	7040,17	7458,80	7902,33

© 2020 Real Sociedad Española de Química

en cada grupo aparezca la misma nota. También se puede proponer como ejercicio dibujar la tabla de un instrumento al que le han eliminado por la causa que sea algunas teclas intermedias. De este modo observarán la analogía con el método que utilizó Mendeléyev para predecir los elementos que faltaban en su tabla. Mendeléyev no dejó los huecos arbitrariamente, sino que los puso en el lugar correspondiente observado semejanzas y discrepancias entre los elementos que ya conocía. Si se dispone de un teclado, no necesariamente un piano, se puede mostrar lo explicado tocando las mismas notas y los mismos acordes en diferentes octavas.

Otro ejercicio de más belleza consistiría en proponer la escucha de un mismo fragmento de un lied, Valga “La Trucha” (*die Forelle*) de Schubert interpretado por una mujer y un hombre con una octava de diferencia. El musicólogo Arturo Reverter a una consulta mía ha respondido: “El ejemplo de La trucha me parece muy adecuado: melodía fácil y recordable en re bemol mayor que modula a si bemol menor cuando la trucha corre el peligro de ser capturada. Le adjunto dos enlaces con dos interpretaciones legendarias: una de la soprano Elisabeth Schwarzkopf y otra del tenor Fritz Wunderlich. Están cantadas en el mismo tono, pero a una octava de distancia”.^[15, 16]

Un poco de humor y de deporte. Tabla de equipos de fútbol

Se puede argumentar que el ejemplo propuesto, aunque debería dar una idea clara del significado de la periodicidad de una tabla, es demasiado técnico y no es de fácil comprensión para un lector lego en temas musicales, así que como final un tanto humorístico, voy a proponer otra

tabla periódica a base de equipos de fútbol, dejando claro que aquí el lego total soy yo.

Simplificando un poco, cada equipo estará formado por un portero y su suplente, cuatro defensas, tres centrocampistas y tres delanteros; es decir, cada equipo será de 13 jugadores. Se pueden poner algunos más y se va a suponer que los puestos no son intercambiables y que el delantero centro será el último de la lista. Dejo al lector ampliar las ideas y corregir mis dislates “futboleros”. Construyamos una tabla ubicando en cada fila un equipo, y los situaremos de arriba hacia abajo, en orden de mejor clasificación. Vamos a establecer una propiedad, “goleabilidad positiva”, como capacidad de marcar goles, y como negativa, la de encajarlos. En consecuencia, los elementos “más gol positivos” estará situados a la derecha de la tabla y es de esperar que los de los equipos mejores sean “más gol positivos”; en cambio, la “gol-negatividad” estará más a la izquierda y hacia abajo. Es decir, serían propiedades análogas a la electropositividad y electronegatividad de los átomos. También en los equipos están quienes no marcan ni reciben goles, son los entrenadores, que podrían ubicarse en una columna a la derecha y serían los equivalentes a los gases nobles. Otra propiedad importante es la retribución de los futbolistas, parece obvio que en general los equipos mejores pagarán mejor a sus jugadores que los peores.

En los dos ejemplos propuestos se pone de manifiesto la periodicidad de las propiedades descritas (se pueden encontrar más o modificar las propuestas; puede ser un ejercicio de aula), el significado de período y grupo, y la forma gráfica de la tabla. Es decir, la tabla “significa algo”, no es una simple compilación de datos u objetos, y su forma (o formas posibles) no es un capricho ni una cuestión estética: viene determinada por las propiedades de estos objetos.

CONCLUSIONES

Un evento tal como la efeméride a que se refiere este trabajo es importante y como tal debe ser aprovechado tanto didácticamente como de cara al público general, sin embargo, sobre todo debe primar el rigor científico. Es decir, no se debe confundir divulgar con vulgarizar y, aunque la analogía es una herramienta muy útil, se deben preservar siempre los principios científicos del hecho original. En este caso sería muy importante y se sugiere como un posible trabajo que el autor no está en condiciones de hacer, investigar, pasados unos meses ¿qué ha quedado, desde el punto de vista de la química y de la física de los elementos, en los alumnos que con tanto entusiasmo montaron tablas variopintas o escribieron textos sobre cualquier tema utilizando casillas de la TP? Sería lamentable que todo se quedara en la anécdota, en lo que se divirtieron montando cajas, buscando muestras de elementos, haciendo contorsiones para representar símbolos de los elementos o buscando entre los símbolos los convenientes para escribir palabras, tal vez riendo viendo a sus profesores disfrazándose con la mejor intención, o aprovechando la estética de la TP para cualquier cosa, pero olvidando lo más importante: la ciencia que se esconde tras la TP y su utilidad tanto didáctica como científica.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los profesores Manuela Martín Sánchez y Gabriel Pinto Cañón por la amable y paciente lectura del manuscrito y sus sugerencias de mejora. También se agradece a don Arturo Reverter, de Radio Clásica, por sus aclaraciones sobre los aspectos musicales.

REFERENCIAS Y LECTURAS DE AMPLIACIÓN

- [1] G. Pinto, M. Martín, M. A. Calvo Pascual, A. de la Fuente, Año Internacional de la Tabla Periódica (2019): Una Oportunidad para Abordar Contextos de Didáctica e Historia de la Física y la Química, *Revista Española de Física*, **2019**, 33(1), 10-18.
- [2] G. Pinto, El Concurso Escolar “Nuestra Tabla Periódica”: Una Iniciativa para Fomentar la Motivación de Profesorado y Alumnado en Áreas STEAM, *Anales de Química*, **2019**, 115(4), 332-343.
- [3] N. P. Agafoshin, *Ley periódica y sistema periódico de los elementos de Mendeléiev*, Reverté, Barcelona (1973).
- [4] J. A. Babor, J. Ibarz Aznárez, *Química general moderna*, p. 148. Ed. Marín Barcelona (1965).
- [5] J. Palacios, *Física Nuclear*, Col. Enciclopedia Hispánica, n.º 3, p. 22, Ed. López Mesquida, Valencia sin año de publicación, aunque el contexto permite situarlo sobre 1946.
- [6] E. Scerri, La tabla periódica: una obra inacabada, *Investigación y Ciencia*, **2019**, junio, 14-17.
- [7] E. Scerri, Evolución del sistema periódico, *Investigación y Ciencia*, **1998**, noviembre, 54-59.
- [8] E. Scerri, La tabla periódica, *Investigación y Ciencia*, **2008**, abril, 50-56.
- [9] E. Scerri, Fisuras en la tabla periódica, *Investigación y Ciencia*, **2013**, agosto, 60-65.
- [10] E. Scerri, El pasado y el futuro de la Tabla Periódica, *Educación Química*, **2008**, 19(3), 234-241.
- [11] E. Cartlidge, Disputas en la tabla periódica, *Investigación y Ciencia*, **2019**, mayo, 13-15.
- [12] B. Luque, Quiritmética: Química y física de los números primos, *Investigación y Ciencia*, **2019**, junio, 87-89.
- [13] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Music/et.html>
- [14] https://es.wikipedia.org/wiki/Temperamento_igual
- [15] Mix - Elisabeth Schwarzkopf; “Die Forelle”; (1946); Franz Schubert.
- [16] Mix - Fritz Wunderlich; “Die Forelle”; Franz Schubert.

