

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

---

# DISCURSOS

LEÍDOS POR

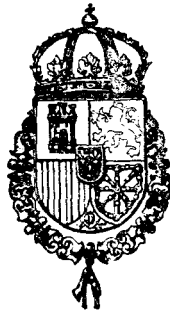
D. ANGEL DEL CAMPO Y Cerdán

Y EL

ILMO. SR. D. BLAS CABRERA Y FELIPE

EN LA RECEPCIÓN PÚBLICA DEL PRIMERO,

EL DÍA 15 DE JUNIO DE 1927



TOLEDO

IMP. A. MEDINA (SUC. DE J. PELÁEZ)

Lucio, 8 y 10, teléfono 32

1927

“LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA  
PERIÓDICO DE LOS ELEMENTOS.,

---

DISCURSO

DE D. ANGEL DEL CAMPO Y Cerdán

## SEÑORES ACADÉMICOS:



CUÁNTAS veces, asistiendo como espectador, desde esos públicos escaños, a solemnidades análogas a ésta, escuché al recipiendario ponderar elocuentemente la emoción que le producía sentirse con méritos inferiores, según él, al honor que en aquellos instantes recibiera!

¡A cuántos hombres eminentes oí entonar entonces el canto simpático de su turbada modestia!

Mas si así sentían, al pisar los umbrales de esta casa, tantos ilustrísimos varones, escogidos entre lo más selecto de la intelectualidad española; que llegaban aquí con un derecho propio por razón de su valioso y considerable bagaje científico; que venían tras una merecida consagración previa en el concepto de la opinión pública, inferid cuáles serán la emoción y la turbación que a mí en estos instantes me embargan, cuando arribo a vuestras puertas casi sin bagaje alguno, sin mayores razones y sin mejores derechos que los que magnánima ha querido atribuirme y concederme la dilatada amplitud de vuestra excelsa benevolencia. Tales son en verdad, y tan grandes, que hasta me asalta el temor de que estas frases, sincera expresión de mi pensamiento, puedan parecer alarde de vanidad, de que no soy capaz, por lo que tienen de inevitable imitación de aquellas otras más elocuentes, que tantas veces oyera.

Pero no es esto sólo; cuando miro a vuestros escaños y

contemplo en ellos a tantas figuras culminantes de la Ciencia patria; a tantos sabios maestros en las más difíciles y variadas disciplinas, crece mi turbación hasta límites inconcebibles; y es porque yo, el último de los aficionados a la Ciencia, no puedo por menos de sentirme agobiado ante el deber, que desde hoy me imponen las circunstancias, de sentarme a vuestro lado para compartir vuestras tareas; pues aun cuando os haga la promesa solemne de mi voluntad de perfeccionamiento, como única ofrenda posible con que corresponder a vuestra gentileza, sospecho que la limitación de mi entendimiento no permitirá jamás que yo me considere legítimamente vuestro compañero, aunque sí seré siempre, más aún que hasta hoy lo era, vuestro discípulo ferviente, vuestro admirador entusiasta.

Suenen, pues, en este recinto, entre las primeras, mis palabras de gratitud a esta ilustre Corporación por el honor inmerecido y la satisfacción inmensa con que hoy me brinda; y en ellas sí que quisiera emular, y aun francamente superar, a las que otros ilustres predecesores formularan en ocasiones semejantes, no por presunción mía de superior virtud, sino como consecuencia de la en este caso mayor indulgencia vuestra.

\*  
\*  
\*

Una nube entolda, sin embargo, las alegrías de este instante: entre vuestras filas echo de menos algunos semblantes que me fueron casi familiares; maestros muy queridos, inolvidables guías de mis primeros pasos, no podrán hoy otorgarme su bienvenida; al evocar su memoria, que acude a mi imaginación aureolada de todos los esplendores emanados de sus merecimientos, no puedo prescindir de manifestar, cuán gustosísimo trocara su presencia ahora en vuestros sitios, por mi perpetuo renunciamento.

Precisamente el puesto que me ha sido asignado en esta Academia, posee una historia bien interesante para mí, desde tales puntos de vista.

Ocupado por primera vez el año 1847, por uno de los fundadores, el ilustre Catedrático y Farmacéutico Dr. Lletget, fué adjudicado en su vacante el año 1883, al eminente Catedrático de Química de la Facultad de Ciencias de Madrid D. Manuel Sáenz Díez, a quien, si bien no llegué a alcanzar, me une el hecho de ser actualmente delegado del Excmo. Sr. Rector de la Universidad Central en la fundación que su viuda, la ilustrísima Sra. D.<sup>a</sup> Eduvigis R. de Celis, estableciera en favor de los estudiantes de Química del mencionado centro.

Sucedió al anterior en 1893, el insigne Catedrático de la misma Facultad D. Santiago Bonilla y Mirat, uno de mis primeros maestros de Química, dándose también la coincidencia de haberme llevado el azar a ser colaborador póstumo suyo en las últimas ediciones de su popular y aún triunfante libro de Química General, y aun de ocupar, siquiera sea circunstancialmente, la misma cátedra que magistralmente desempeñara.

Ocupó en 1899 la vacante que dejara Bonilla, el inolvidable Muñoz del Castillo, mi maestro también primeramente, mi paternal compañero de Facultad más tarde y de quien vuestra bondad me ha designado como sucesor.

Considero innecesario recordaros las dotes de raro y extraordinario talento que adornaban a tan ilustre antecesor; su historia académica, referida con detalle en el momento de su ingreso en esta corporación por el que fué más tarde su ilustre presidente, D. Amós Salvador, de tan grata memoria, bien lo demuestra, al recordar que fué necesaria una ley especial de dispensa de edad, para que Muñoz del Castillo pudiera vestir la toga de Catedrático ganada en pública y reñida oposición a los diecinueve años.

En el Instituto, en la Escuela Politécnica después, en la Uni-

versidad más tarde; dedicado primero a la Física, cultivando luego la Química, enamorado como consecuencia de la Química-Física y de la Mecánica-Química, cuyas enseñanzas él fué el primero en dar y crear en España; preocupado de la Meteorología en sus primeras épocas, de la Viticultura a continuación, de la Agronomía siempre, y entusiasmado al final con la Radiactividad, cuyos estudios él introdujera también en nuestro país, hasta el punto de llegar a fundar un Instituto especial para ellos; en la cátedra y laboratorio unas veces, en la administración pública otras, en las Cortes en ocasiones, puede decirse que por donde quiera que pasó, a donde quiera que dirigió su atención, allí dejó las huellas indelebles de las dos cualidades que principalmente le caracterizaban: su inteligencia poderosa y su voluntad de hierro.

Con qué placer recuerdo aquellos años de mi juventud, allá por los estertores del siglo XIX, en que oía embelesado, sus magistrales disertaciones en cátedra, acerca de las cuestiones de química-física que entonces presumían de modernas, o acerca del sistema periódico de los elementos, tema de inagotable actualidad.

No podré olvidar fácilmente, con qué vehementes acentos incitaba a la juventud al estudio, y le señalaba, como un deber que de ella exigía el interés patrio, su orientación hacia la investigación científica; con qué elocuencia sabía transmitir a los demás un entusiasmo científico, que sin duda le inflamaba y que si hubiera estado de acuerdo con su salud frecuente y seriamente quebrantada, y aun con sus circunstancias familiares, no exentas de contrariedades y sinsabores, le hubiera llevado, a no dudar, a vislumbrar horizontes a que por su gran entendimiento, tenía derecho.

Junto a este inteligente entusiasmo, del que era consecuencia la gran perspicacia científica de que dió constantes pruebas, sabiendo apreciar la precisa trascendencia de las cuestiones

desde el momento de su planteamiento; iba unido a una muy notable aptitud docente, de la que es brillante muestra el hecho de que algunos de sus programas de Química Inorgánica, redactados hacia el año 1897, marcan orientaciones semejantes y muy notables parecidos, con el plan que muy posteriormente, febrero de 1922, ha desarrollado el Profesor de Berna Fritz Ephraim, en su notable obra *Anorganische Chemie*, que tan general aceptación ha tenido recientemente en toda Europa.

Mas si tantas muestras de su entendimiento privilegiado harán perdurable en sus discípulos el recuerdo de la venerable figura de Muñoz del Castillo, llena, por otra parte, hacia ellos de paternal afecto y simpatía, no contribuirán menos al mismo fin las pruebas de voluntad recia, tenaz e indomable, con que supo, no sólo sobreponerse a las mil contrariedades que en sus últimos tiempos le amargaron la existencia, sino conseguir en tiempos mejores verdaderos triunfos, en terrenos y cuestiones donde otros muchos fracasaron; buen ejemplo de ello nos muestra, entre otros, el hecho que no es para olvidado, de deberse casi a su único y exclusivo esfuerzo la cantidad que figura en los presupuestos de Instrucción Pública para material científico de nuestros laboratorios—sin variación por cierto desde entonces, no obstante los tiempos de encarecimiento que atravesamos—y la creación del Instituto de Radiactividad; sólo quienes hayan clamado una y otra vez, sin resultado, por cuestiones pedagógicas, pueden comprender el éxito que significa haber arrancado aquellas concesiones de unos poderes públicos—que por muy triste que nos parezca como españoles reconocerlo—tan pocas veces abren los ojos y los oídos para ver y atender en cuanto lo necesitan, la eficacia, el progreso o el prestigio de la Universidad Española.

Una de las grandes preocupaciones científicas de Muñoz del Castillo, como investigador y como maestro, fué el *sistema periódico de los elementos químicos*, al que con aquella clarividencia a que antes me refería, concedió, aun en tiempos en que el asunto parecía sin demasiado interés, toda la trascendencia que realmente tiene y actualmente se le concede.

Tengo para mí, que uno de los mejores modos de tributar homenaje a un maestro, es el de meditar acerca de aquellos problemas que él planteara o fueran simplemente objeto de su preocupación.

Permitidme, pues, yo os lo ruego, que moleste vuestra atención, dedicando algunos momentos a recorrer y recordar las fases principales por que ha ido pasando el pensamiento científico en torno a la idea del *sistema periódico*.

Para mayor facilidad en la exposición, dividiremos la tarea en varias partes: origen de la idea de periodicidad y trabajos anteriores a 1914; principales trabajos posteriores a esta fecha; estado actual y posibilidades para el porvenir.



## I

1. El afán de encontrar un apoyo experimental a la idea filosófica de la unidad de la materia, aparece en la historia de la química, siguiendo en sus comienzos dos trayectorias, si distintas al principio, bien pronto convergentes.

Arranca una de ellas, de un modo claro y rotundo, de cuando el químico inglés Prout, formula en 1815 (1) la famosa hipótesis de que los pesos atómicos de todos los cuerpos simples deben ser múltiplos del del Hidrógeno.

Sostenida esta suposición por Mainecke en 1817 (2) y difundida en Inglaterra por Th. Thompson, no halla eco en Europa, donde los trabajos de Berzelius acerca de los pesos equivalentes, confirmados después por Turner en la propia Britania, parecen demostrar el error de aquella suposición.

Reaparece de nuevo la idea con el francés Dumas en un notabilísimo estudio publicado en 1857, en el que prueba (3) que todos los cuerpos simples, entonces conocidos, pueden formar tres series distintas, en las que los respectivos equivalentes *parecen ser* múltiplos enteros de 1, de 0,5 y de 0,25, afirmando, además, que si el primer término se designa por  $a$ , y

---

(1) *Annals of Philosophy*, 6, p. 321.

(2) *Journal Schweigger*, 22, p. 138.

(3) *Compt. Rend.*, 45, p. 709.

se llama  $d$  a la razón, todo equivalente podría representarse por una expresión de la forma  $(a + nd)$ , donde  $a$  marcaba el género y el segundo término el número de orden en la progresión y la especie.

Pero bien pronto, en 1865, un discípulo del anterior, el gran analista belga J. S. Stas, inaugurando, por decirlo así, la precisión en las medidas cuantitativas, y consiguiendo resultados de una exactitud que durante muchos años se conceptuaron insuperables, y fueron realmente insuperados, vino a demostrar que lo expuesto por Dumas, desviándose de los valores experimentales en cantidades muy superiores a los errores analíticos, carecía de trascendencia científica, siendo por lo tanto inadmisibile aquella nueva forma de la hipótesis de Prout, la cual quedó por tanto enterrada y olvidada desde entonces. Y enterrada ha seguido hasta que las ideas modernas acerca de la constitución de la materia, y más concretamente los famosos descubrimientos realizados por J. W. Aston, en 1920, al proseguir experimentos anteriores de su maestro J. J. Thompson, en Cambridge, la han hecho resurgir con pujanza avasalladora.

2. Toma realmente origen la otra trayectoria en los memorables trabajos de Richter, que allá por 1798 buscan con afán la relación existente entre las masas de los cuerpos reaccionantes, cuyos valores numéricos, colocados por orden de magnitud, obedecen a una ley, que obsesionado busca sin acertar a expresarla, aun a trueque de retrasar la publicación del otro enunciado que tanto contribuyó a dar bases experimentales a la teoría atómica, y que con razón lleva su nombre.

Fué Döbereiner quien en 1829 (1), continuando con aquellos puntos de vista, halla una distribución en triadas de los elementos químicos con positiva seriación de los respectivos

---

(1) *Poggendorff Annalen*, 15, p. 301.

pesos atómicos, y Lenssen generaliza con posterioridad este modo de ver; pero es, sobre todo, Pettenkofer hacia 1850 (1), quien empieza a considerar los pesos atómicos de los cuerpos análogos, como términos de una progresión aritmética. Y por fin Dumas, en el trabajo antes citado (1857), formula atrevidamente las conclusiones antes transcritas, que habían de ser abandonadas después, como consecuencia lógica de los trabajos de Stas.

3. Tales son los hechos históricos que preceden a la aparición de la idea de periodicidad en la sistematización general de los elementos químicos.

Corresponde, en verdad, el honor de ser el primero en percibirla al geólogo francés Beguyer de Chancourtois, quien en 1862 publicó un notable trabajo acerca de lo que él llamó la *vis tellurique*: hé aquí sus palabras (2):

«Trazo sobre un cilindro de base circular una hélice que corte las generatrices de aquél a 45°, adopto la espira como unidad de longitud y llevo sobre ella, a partir de un origen fijo, magnitudes relacionadas como se ha dicho con los equivalentes químicos de los elementos; señalo estos puntos que llamo *característicos* con las notaciones de cada elemento..... y resulta que la *relación de las propiedades de los cuerpos se manifiestan por relaciones sencillas de posición de sus puntos característicos*, apareciendo sensiblemente en la misma generatriz los más análogos.

Dos años más tarde (1864) (3), e independientemente de lo anterior, Newlands expone su *ley de las octavas* ante un congreso de sabios ingleses: «Colocados —dice— todos los elementos químicos por orden creciente de sus pesos atómicos, la

---

(1) *Liebig's Annalen*, 105, p. 188.

(2) Jagnaux. *Histoire de la Chimie*, II, p. 23.

(3) *Chemikal News*, 12, p. 83.

»serie así constituida presenta la propiedad de que, contando  
»7 términos a partir de uno cualquiera, se da en otro lo más  
»parecido al primero por sus propiedades.»

Por cierto que es fama, que cuando Newlands dió cuenta de su descubrimiento, fué acogido de tal modo por el auditorio, que el presidente de la asamblea se consideró obligado a preguntar irónicamente al autor si no se hallaría una ley parecida colocando los elementos por orden alfabético.

Sería para gozar el asombro que manifestarían aquellos sabios si hubieran podido conocer la transcendencia que había de tener con el tiempo aquel enunciado que con tanto desdén acogieran.

Poco tiempo después, en 1869, el químico ruso D. Mendelejeff (1) y el alemán L. Meyer (2), llegaban, simultánea y bien atrevidamente sin duda, para aquel tiempo, a formular su famoso y conocido enunciado

*«Las propiedades de los cuerpos simples son función periódica de sus pesos atómicos»*

estableciendo de paso una ordenación de los elementos químicos muy parecida, como puede verse por los adjuntos cuadros, en donde puede apreciarse la doble o sencilla periodicidad y aun el germen de los períodos cortos y largos que hoy admiten muchos autores.

Bien conocidos son de todos, los éxitos conseguidos por Mendelejeff—no compartidos por Meyer en este aspecto—que llegando a predecir la existencia de elementos desconocidos en su tiempo, y aun de señalar sus más salientes propiedades y hasta su peso atómico aproximado, vió confirmadas plenamente sus audaces afirmaciones, con el descubrimiento del Galio en 1875,

---

(1) *Zeitschrift für Chem.*, 5., p. 405.

(2) *Liebig's Annalen*, 7, p. 354.

**SISTEMA DE L. MEYER**

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Li	Gl	B	C	N	O	F	—
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	—
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe, Co, Ni
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	—
Rb	Sr	Yt	Zr	Nb	Mo	—	Ru, Rh, Pd
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	—
Cs	Ba	La, Di, Ce	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	Yb	—	Ta	W	—	Os, Ir, Pt
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	—	—	—
—	—	—	Th	—	U	—	—

**SISTEMA DE MENDELEJEFF (2.ª forma)**

R <sub>2</sub> O	I	Li	K	Rb	Cs	—	—
RO	II	Gl	Ca	Sr	Ba	—	—
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	III	B	Sc	Y	La	Yb	—
RO <sub>2</sub>	IV	C	Ti	Zr	Ce	—	Th
R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V (III)	N	V	Nb	Di	Ta	U
RO <sub>3</sub>	VI (II)	O	Cr	Mo	—	W	—
R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	VII (I)	F	Mn	—	—	—	»
	VIII		{ Fe	{ Ru		{ Os	»
			{ Co	{ Rh	—	{ Ir	»
			{ Ni	{ Pd		{ Pt	»
R <sub>2</sub> O	I	Na	Cu	Ag	—	Au	—
RO	II	Mg	Zn	Cd	—	Hg	—
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	II	Al	Ga	In	—	Tl	—
RO <sub>2</sub>	IV	Si	Ge	Sn	—	Pb	—
R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V (III)	P	As	Sb	.	Bi	—
RO <sub>3</sub>	VI (II)	S	Se	Te	.	—	—
R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	VII (I)	Cl	Br	I	.	—	—

por Lecoq de Boisbaudran (ekaboro de Mendelejeff); del Escandio en 1879, por Nilson (ekaluminio) y del Germanio en 1886, por Winkler (ekasilicio). Posteriormente el descubrimiento del *polonio* y del *radio*, por Mme. Curie; el descubrimiento en 1895 de los gases raros del aire, por Ramsay y Raileigh, y su encaje en dicho sistema, del que constituyen, como es sabido, una columna o fila entera que no había sido prevista por Mendelejeff, pero que una vez hallada, se vió que era precisa; del ekacirconio (Hafnio de Hevesy o Celtio de Urbain) en 1923 o 1911; de los ekamanganesos Masurio y Renio, por Tacke, Noddac y Berg en 1925; y del (elemento 61) Illinio, por Meyer en 1920, o Florencio, por Rolla y Fernandes en 1926, constituyen ya un conjunto de hechos de tal fuerza, que no hay hoy químico alguno que no reconozca que en el sistema periódico de Mendelejeff y Meyer hay algo más hondo que la forma externa, algo que no puede ser considerado como una nueva coincidencia o una particularidad curiosa.

No obstante estos éxitos, todos los químicos advirtieron desde el principio en esta ordenación, ciertas anomalías en donde la periodicidad no se cumplía, y que no por muy conocidas deben dejarse ahora de señalar: eran las más importantes las siguientes:

1.<sup>a</sup> La dificultad de encuadrar en el sistema los elementos llamados de las tierras raras.

2.<sup>a</sup> La existencia del grupo VIII o de las triadas, en donde las analogías se manifiestan en dirección perpendicular a la que presentan los demás grupos.

3.<sup>a</sup> El que los elementos Calcio, Níquel y Yodo, sea preciso colocarlos respectivamente, después del Potasio, Cobalto y Telurio, no obstante tener peso atómico-inferior a ellos, si se quiere que las analogías químicas de las columnas respectivas no sufran una gravísima alteración.

El deseo de vencer estas dificultades, ya en el orden didác-

tico, ya en el puramente doctrinal, originó numerosas investigaciones orientadas de muy diverso modo.

De un lado, nuevos cultivadores de la precisión aparecieron en el campo de la química; la semilla que dejara Stas, dió sus frutos, y multitud de investigadores selectos buscaron en las determinaciones cada vez más rigurosas de los pesos atómicos, la solución a algunas de las anomalías mencionadas, pensando, sin duda, en la existencia causal de posibles errores; los procedimientos gravimétrico y físico-químico, que tras ininterrumpidos perfeccionamientos y con otros fines culminaron en nuestros días, como el *sumum* de la precisión posible entre las manos de T. W. Richards, de EE. UU., y de Ph. Guye, de Ginebra, y en los que tanto se distinguieron respectivamente, entre otros varios continuadores, Högnischmidt, en Munich, y Moles y Batuecas, en Madrid, rectificaron o garantizaron, en efecto, numerosas cifras; pero no pudieron justificar los cambios de orden antes mencionados, con lo que quedó bien patente, que tales anomalías no procedían seguramente de errores experimentales.

De otra parte, surgieron dos géneros diversos de trabajos: unos, no muy abundantes, trataron de ahondar en el significado del sistema periódico para hallar en las propias raíces de la periodicidad la causa de sus excepciones; otros, muy numerosos, buscaron en un cambio de forma, espacial o plana, el remedio o paliativo de alguna de las anomalías indicadas (1).

#### 4. Tipo de los primeros, acaso el más importante, bien pue-

---

(1) Queda deliberadamente aparte, el cúmulo de publicaciones que, teniendo por idea directriz la comprobación de la periodicidad, en un sinnúmero de propiedades, tales como valencia, volúmenes atómicos, calores específicos, puntos de fusión y ebullición, conductividad térmica o eléctrica, coeficientes de expansión, calores latentes de fusión, líneas o bandas espectrales, magnetismo, color, propiedades mecánicas, estabilidad de compuestos, etc., etc., que aun siendo por lo general extraordinariamente interesantes, no resultan pertinentes en estos momentos.

de decirse que es la *clasificación cíclica* ideada por Muñoz del Castillo.

Para nuestro ilustre antecesor, la ley periódica, era la ley de la génesis de los elementos, o bien una parte importante de dicha ley (1).

Ya en 1897, Muñoz del Castillo, o sea unos años antes del descubrimiento de la radiactividad, 6 años antes de que Lenard asignara a la materia una estructura lagunar y la supusiera compuesta por esos pequeñísimos centros impenetrables a los rayos catódicos a que llamó dinamidas; y 16 años antes de que Rutherford llegara a conclusiones semejantes al estudiar la dispersión de los rayos  $\alpha$ ; con esa gran intuición que le caracterizaba, y apoyándose en razonamientos todo lo científicos que los conocimientos en aquella época permitían, afirmaba ante sus alumnos, que los átomos forzosamente debían estar compuestos de partes, y siendo por tanto sistemas complejos, deberían tener una estabilidad variable en relación con el medio, y decía (2): «Bueno que el peso atómico represente el principal factor de las propiedades que diferencian los cuerpos, pero ¿nada ha de influir el volumen de dichas partículas? ¿Nada la constitución y estructura de las mismas? ¿Nada la energía como cantidad y como forma en ellos residente?»

Y tomando después como base de razonamiento la hipótesis cosmogónica de Laplace, afirmaba que la evolución astronómica con cambios tan profundos como los que suponen el paso de la nebulosa primitiva inmóvil o con sólo movimiento traslatorio, a las nebulosas en rotación, a su fraccionamiento en anillos, a la revolución de éstos en sistemas estelares primero, en astros apagados más tarde, debía producir condiciones de estabilidad muy diferentes en los átomos de los cuerpos, de

---

(1) Discurso de Recepción ante esta Real Academia, p. 14, 1901.

(2) Loc. cit., p. 13.

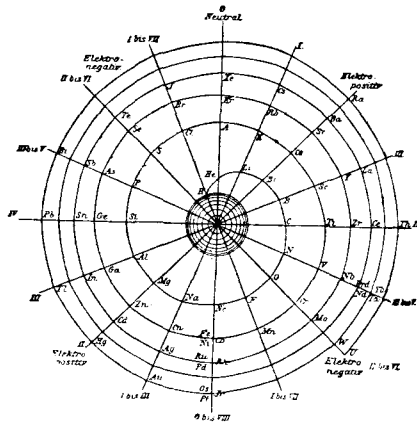


tal modo que la evolución química debía seguir un proceso paralelo a la evolución astronómica.

Sin descender a detalles cuya exposición *in extenso* no permiten circunstancias de tiempo ni ocasión, basta recordar cómo con estos fundamentos llegaba Muñoz del Castillo a deducir la existencia de series de elementos no periódicas y periódicas y a formular su entonces bien interesante clasificación en la forma conocida de todos (1).

5. Soluciones del segundo tipo, atentas sólo al aspecto formal de la ordenación periódica, se han propuesto un sinnúmero, con mejor o peor fortuna; transcribirlas todas sería empresa impropia, por su extensión, de estos momentos, amén de no merecer ya hoy muchas de ellas demasiada atención; baste, por consiguiente, señalar por modo de ejemplo, algunas de las que, por una u otra circunstancia, ofrezcan mayor interés.

Figuran entre las que cronológicamente son más dignas de atención, la representación plana según una espiral logarítmica ideada por G. J. Stoney en 1888, de la que da muy clara idea el grabado adjunto (2) (en el que han sido ya incluidos los gases nobles), y la curva helizoidal de proyección lemniscata imaginada en 1898 por W. Crookes, de la que da también suficiente idea la correspondiente figura (2); en ambas puede ob-

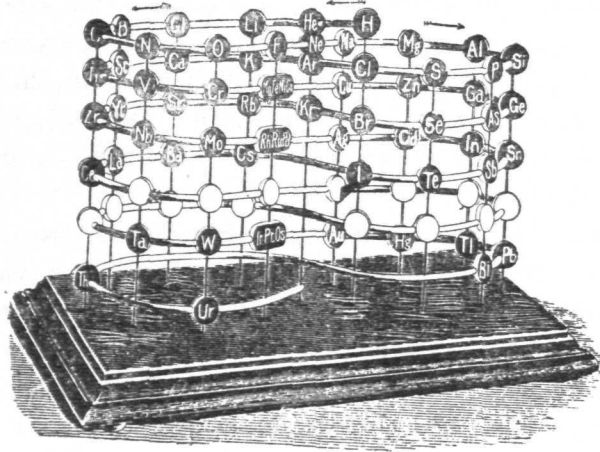


Espiral de S. Stoney.

(1) *La Naturaleza*. V. p. 259, 1894, y *Ensayo acerca de la significación de las leyes de Dulong-Mendelejeff, etc.*, 1899.

(2) *Das periodische System*. Schmidt, 1917, ps. 90 y 92.

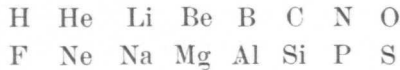
servarse cómo las triadas se reúnen en un solo lugar, y cómo se



Lemniscata de W. Crookes.

elude o no se resuelve la cuestión de las tierras raras, si bien se atiende al carácter eléctrico, la valencia química, etc.

Otra disposición interesante es la que adopta W. Ramsay en su precioso y pequeño libro *Modern Chemistry* (1), a la cual atribuye dos formas; una en dos planos perpendiculares que es como sigue: coloca en línea horizontal los dos períodos cortos de Meyer, incluyendo el H por el que comienza, iniciando 8 columnas de cuerpos análogos, en esta forma:



y al escribir el primer período largo, que también comienza por el halógeno



(1) 1.<sup>a</sup> edición. Londres, 1900; 4.<sup>a</sup> edición, 1907. Ed. española, 1912

y llegar al espacio entre la cuarta y quinta columna, intercala una hoja perpendicular al plano en que empezó a escribir, en la que coloca 5 columnas más en cada cara, continuando por Sc, Ti, V, Cr, Mn en la de la izquierda, y Fe, Co, Ni, Cu, Zn en la de la derecha para seguir Ga, Ge, As y Se en el plano primitivo debajo de Al, Si, P y S del segundo período.

Continúa escribiendo después, ya con el suplemento de la hoja añadida, los demás períodos largos de la clasificación, y al final resultan bastante bien las analogías en cada columna vertical, y hasta en la mayoría de las que resultan al rebatir la hoja central a uno u otro lado sobre el plano, y empalmar algunas de las que hay en ella, con los dos elementos de los dos primeros períodos que están encima.

Dice Ramsay en una nota, que la más adecuada forma de representación sería la espacial, mediante dos cilindros de distinto radio, en donde fueran arrollándose, según una hélice, los dos períodos cortos en el más pequeño, y los períodos largos en el mayor.

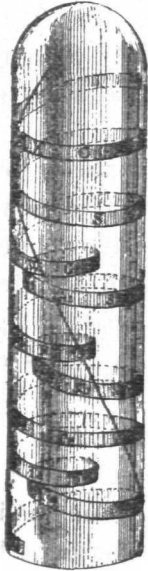
De un modo algo semejante al de la última interpretación de Ramsay que salta a la vista, ante la disposición semiplana del eminente químico inglés, pero concebida con mucha más claridad y elegancia, se nos presenta la ingeniosa representación ideada por el ilustre naturalista español D. José Macpherson, exhumada, publicada y comentada con singular acierto, en 1903, un año después de su muerte (1), por mis queridos amigos los sabios académicos Sres. Hauser y Rodríguez Mourelo.

Las figuras adjuntas de la disposición espacial y de su desarrollo en un plano, dan mejor idea que toda otra descripción de lo que esta representación es.

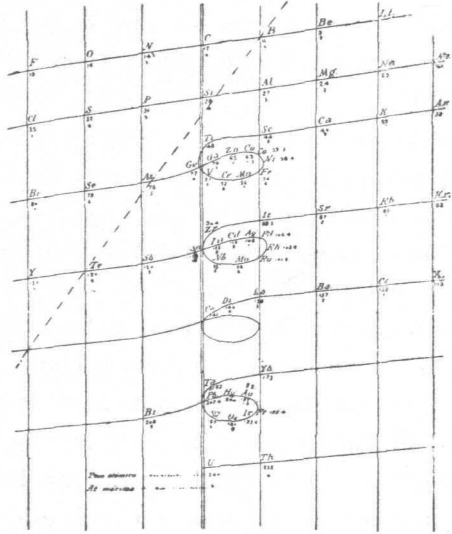
---

(1) *Anales de la Soc. Esp. de F. y Q.*, 1903, p. 61.

Su simple inspección permite apreciar el notable progreso que esta disposición significa y las ventajas que ofrece, desta-



Hélice de Macpherson.

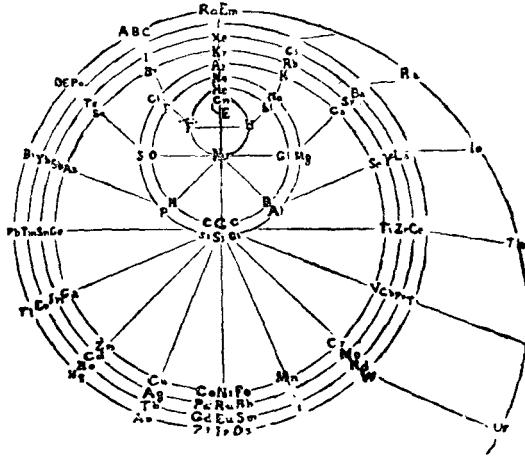


cándose con perfecta claridad, y bien separados, los grupos de elementos según sus valencias y según su naturaleza metalóidica o metálica determinada por el carácter ácido o alcalino de sus óxidos, en una forma que no es fácil encontrar superada en otras representaciones.

No debe dejarse tampoco de mencionar otra representación plana, la ingeniosa *Helix Chemika*, de Emerson, publicada en 1911 (1), en la que ya se incluyen elementos radiactivos, se da entrada a los hipotéticos elementos coronio, protoflor y nebulio, y se da comienzo a la lista por el electrón  $\epsilon$ , considerado como el primer elemento químico; al propio tiempo, el ensan-

(1) Schmidt, loc. cit., p. 94.

chamiento periódico de las espiras, armoniza con la desigual amplitud de los períodos que hoy se admiten.



6. Si se examinan atentamente las variadísimas y numerosas maneras de hacer la distribución de los elementos en el sistema periódico, unas espaciales y otras planas, aquéllas sobre superficies alabeadas, éstas según líneas sinusoidales o espirales, etcétera, de que está repleta la bibliografía científica durante este periodo, se echa de ver fácilmente en todas ellas, de qué manera el pensamiento de cada autor va plegando la seriación de los elementos por orden creciente de pesos atómicos, la simetría que ya se manifiesta en las primeras ordenaciones, las regularidades, en fin, de la periodicidad, al hecho experimental e inmutable de las analogías y diferencias de propiedades existentes en las diversas familias naturales de elementos químicos; y cómo, ante la dificultad, no vencida por ninguno, de realizar la exacta compenetración de ambos puntos de vista, se llega siempre a la necesidad de violentar más o menos arbitrariamente el primero, quedando siempre en fin de cuentas

con que Potasio y Argon, Níquel y Cobalto, Yodo y Telurio, tienen que trocar su emplazamiento desde el punto de vista de sus pesos atómicos; con que a estas tres anomalías hay que añadir otra análoga que presenta el Protoactinio de inferior peso atómico que el Torio, pero que tiene que colocarse después de éste en la clasificación; con que en las triadas del grupo VIII, se manifestarán las analogías en sentido perpendicular a como aparecen en el resto del sistema y con que los elementos de las tierras raras darán al traste con la periodicidad, al ocupar el sitio que normalmente les corresponde.

El sistema periódico se presenta, pues, a todos los investigadores como un misterio atrayente e indescifable; para explicarlo será preciso interpretar claramente sus regularidades y sus aparentes anomalías.

## II

7. De entre la multitud de trabajos que la bibliografía ofrece, relacionados con el sistema periódico, hay uno que se destaca entre los demás, y que viene a marcar rumbos nuevos en las ideas directrices de este género de estudios, señalando por tanto el final de una época y el alborear de otra. El trabajo aludido no es obra de un químico, sino del eminente físico sueco, a quien tanto debe el estudio de las series espectrales, J. R. Rydberg.

En este trabajo, divulgado en 1914 (1), pero hecho con anterioridad, su autor, sin ningún prejuicio químico y ampliando ideas más antiguas sustentadas por él (2), se propuso hacer un estudio matemático del enunciado de Mendelejeff, y al tratar de

---

(1) *Journal de Chimie Physique*, Geneve, 1914.

(2) *Zeit. Anorg. Chem.*, 14, p. 66, 1897.

buscar la variable independiente, se expresaba del siguiente modo:

«En el sistema de Mendelejeff, todos los elementos son colocados en una sola serie y cada uno se distingue de los demás, por su sitio en ella. Una sola variable independiente es suficiente, pues, para la determinación de un elemento. Según que la magnitud a determinar varíe de un modo continuo o discontinuo, la variable independiente debe poder recorrer la serie continua de todos los números o la serie discontinua de los números enteros positivos. En el caso de la serie Mendeleefiana, no puede haber duda: todas las propiedades de los átomos varían de un modo discontinuo de un elemento a otro; si hay variaciones continuas en dichas propiedades, es dentro de un mismo elemento, a consecuencia de variaciones continuas de temperatura o presión.

Por lo tanto, la variable independiente para el sistema de los átomos de los elementos será la serie natural de los números enteros.

No se pueden emplear los pesos atómicos para la obtención racional de las propiedades de los elementos porque aquéllos no siguen el orden que por éstos se deduce del estudio de sus propiedades (A — K) (Co — Ni) (Te — I), y además porque el peso atómico no es una cantidad simple, independiente, sino muy complicada, ya que unos presentan la forma  $4m$  y otros la  $4m + 3$  siendo  $m$  un número entero.

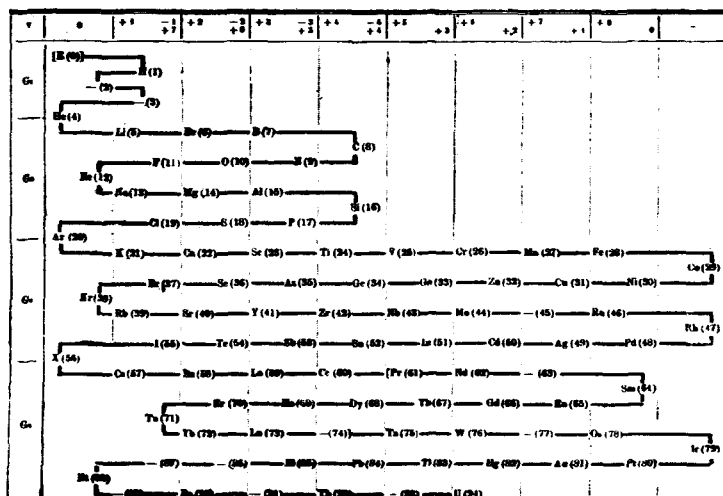
Como variable independiente adoptamos, pues, los números enteros positivos, a los que llamaremos *números de orden* de los átomos o los elementos; *su significación particular nos es completamente desconocida*. Representaremos los elementos ordenados como en el sistema de Mendelejeff, según la serie creciente de los pesos atómicos, pero sus *números de orden*  $N$  no serán determinados sino después de un estudio completo del sistema ».

Rydberg después, determina el número de elementos que deberá contener cada período, resultando ser:

$$2 = 2 \times 1^2 \quad 8 = 2 \times 2^2 \quad 18 = 2 \times 3^2 \quad 32 = 2 \times 4^2 ;$$

se afana por obtener mediante el cálculo y razonamientos de gran originalidad los valores de la valencia y el peso atómico de cada elemento en función de N, y admitiendo que el electrón es un elemento, y que deben existir, a más de los conocidos, el *coronio* y el *nebulio*, propone dos nuevas representaciones gráficas del sistema periódico: una, según una serie ondulada ininterrumpida; otra, según una espiral plana que puede ser considerada o no, como la proyección de una espiral cónica; una y otra se reproducen a continuación.

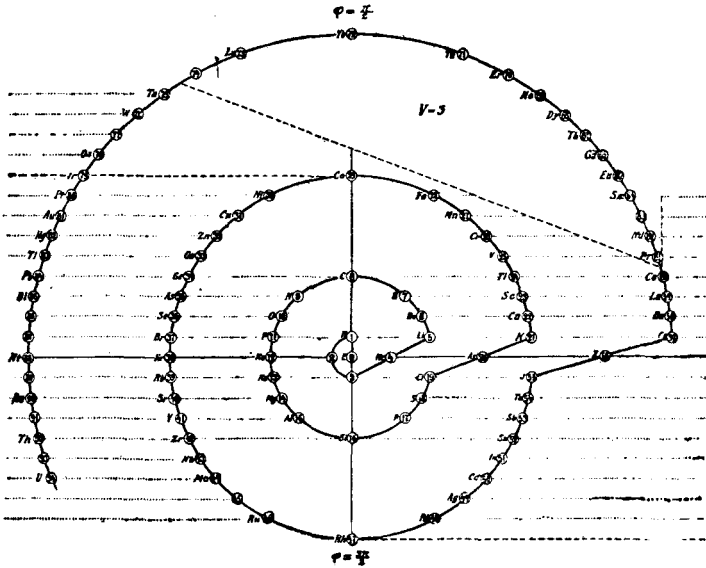
El interés del trabajo de Rydberg no reside en aquello a que él atribuyó más importancia; el cálculo de los pesos atómi-



cos mediante consideraciones teóricas que le condujeron a diversas fórmulas algebraicas, que sólo eran aplicables a grupos



limitados de elementos, con significar un esfuerzo muy digno de consideración en el momento de su publicación, perdió bien



pronto el mayor valor que entonces pudiera tener, desde el momento en que quedó demostrado que muchos pesos atómicos no eran otra cosa que números dependientes del porcentaje con que la naturaleza presenta mezclados, elementos cuyas verdaderas masas atómicas eran bien diferentes de la considerada.

El gran interés del trabajo de Rydberg, estriba precisamente, en haber relegado a segundo término, como si hubiera tenido una clara visión del porvenir, aquellos pesos atómicos, sustituyéndolos por *el número de orden*, cuya significación física no podía adivinar, y estableciendo como criterio para asignar dicho número, *el que los hechos experimentales y las analogías de los cuerpos impusieran*.

Rydberg, después de sus representaciones gráficas, pudo

exponer su sistema, siguiendo un camino en cierto modo inverso al empleado por Mendelejeff y Meyer, diciendo: *Si se distribuyen los elementos químicos por razón de sus analogías en grupos asociados entre sí, en forma tal, que presenten un máximo de simetría y de periodicidad, se observará que resultarán colocados casi exactamente según el orden creciente de sus pesos atómicos, y sus propiedades aparecerán ser función periódica del número de orden.*

Esta afirmación no fué formulada por Rydberg, pero no escapó a Van der Broek, que casi simultáneamente (1) se ocupó del asunto en un trabajo en que apunta la citada conclusión.

Es de advertir, que a partir de Rydberg y Van der Broek, el número de orden como variable independiente y con el nombre de número atómico, es aceptado unánimemente, y como veremos, avalorado bien pronto con la significación física que antes se echara de menos; el enunciado de Mendelejeff, es, por consiguiente, reemplazado por el nuevo enunciado y, con ello, el pensamiento científico empieza a darse cuenta de que, a pesar de sus triunfos, la ley periódica de Mendelejeff y Meyer, significa, no más, que una ligerísima aproximación a la verdad.

### III

8. Por rara casualidad, los trabajos de Rydberg y Van der Broek, aparecen en la bibliografía en un momento bien interesante para la historia del desenvolvimiento científico; su aparición coincide casi, con el momento en que hacen eclosión en el mundo las ideas que acerca de la constitución de la materia, y con avasalladora pujanza, invaden hoy por completo el horizonte de la Física y la Química modernas.

---

(1) *Pysik. Zeit.*, 14, 32, 1913.

Es, en efecto, en 1912, cuando Laue abre, con sus descubrimientos acerca de la naturaleza de los rayos X, el maravilloso filón reservado a la moderna röntgen-espectroscopia (1); es en 1913 cuando Niels Bohr, lanza por primera vez sus geniales teorías acerca de la constitución atómica (2); es en 1914 y 1916 cuando W. Kössel (3) explica la teoría de emisión de las radiaciones röntgenianas  $K L M$ , y formula la de los enlaces polares y homopolares interatómicos; es también en 1913 y 1914 (4) cuando el malogrado H. G. J. Moseley, bien poco antes de caer para siempre en los campos de batalla de la gran guerra, descubre la famosísima ley porque se rigen los espectros de alta frecuencia y que lleva su nombre.

Como es sabido, la relación sencilla que existe entre la frecuencia de las radiaciones que se emiten al pasar los electrones desde los pisos de órbitas del átomo, designados por las letras  $L$ ,  $M$  o  $N$ , al más interno  $K$ , y la variable independiente del sistema periódico, puede ser representada por la ecuación lineal:

$$\sqrt{\nu} = c(N - a)$$

donde  $c$  y  $a$  son constantes, y  $N$  es el número de orden de los elementos, o sea su *número atómico*.

Esta ley que se cumple, no sólo para las líneas espectrales de la serie  $K$ , sino también para las de la serie  $L$  y  $M$ , significa el más seguro criterio científico, hoy admisible para determinar

---

(1) Un resumen de sus trabajos aparece en *Jahrb. f. Radiaktivitat u. Elektronik*, II, 308, 1914.

(2) *On the constitution of atoms and molecules*, *Phil. Mag.* 26, I, 476, 857, 1913.

(3) *Verh. de Deutsch. Phys. Ges.*, 899, 1914. *Über Molekülbildung als Frage des Atombaus. Annalen der Physik*, 49, 229, 1916.

(4) *Philos. Mag.*, 26, 1024, 1913 y 27, 703, 1914. *The high Frequency Spectre of the Elements*.

el verdadero *número atómico* que a los diversos elementos corresponde, pues, al establecer gráficamente la relación entre  $\sqrt{\nu}$  y  $N$ , se obtiene una línea recta o de escasa curvatura, sobre la que deberán caer todos los puntos cuya interpolación se busque.

Y es verdaderamente notable el hecho de que esta ley que viene a dar a la iniciativa de Rydberg el formidable apoyo de una argumentación experimental irrefutable, confirma la exigencia que ya marcaban las analogías químicas, de anteponer el argo al potasio, el cobalto al níquel, el telurio al yodo; quita todo fundamento a la admisión del coronio, nebulio, etc., como elementos del sistema; incluye sin ninguna reserva los elementos de las tierras raras en el sitio, que aun perturbadoras de toda periodicidad, les correspondía hasta entonces, y da a las vacantes existentes en el sistema periódico, un carácter de elevadísima probabilidad que jamás hasta entonces tuvieron.

La ley de Moseley, poniendo de manifiesto que hay algo en los elementos químicos que varía de un modo *regular* de uno a otro lugar del nuevo sistema periódico, que influye en el número de vibraciones  $\nu$ , y que no es la masa de los átomos, abre nuevos cauces a la imaginación, de paso que lanza sendas paletadas de olvido sobre la idea mendelefiana de regular dicho sistema por el peso de aquéllos.

Pero hay más; por la misma época histórica que estamos examinando, los estudios de Rutherford, acerca de la constitución del núcleo atómico, apoyados plenamente por las leyes de los corrimientos, que rigen las transformaciones radiactivas, halladas por Soddy (1) y Fajans (2), vinieron a confirmar la hipótesis de Van der Broek, según la que la carga eléctrica positiva del núcleo aumenta en una unidad, al mismo tiempo que

---

(1) La química de los radioelementos, Londres, 1911. *Cham. News.*, 14, 422, 1923.

(2) *These d'habilitation Karlsruhe*, 1912. *Phys. Zeit.* 14, 131, 1913.

el número de orden del elemento y el número de cargas positivas de cada uno de éstos, es precisamente igual al citado número de orden en el sistema periódico.

El número atómico definido según Moseley, es por consiguiente, sinónimo de *carga eléctrica nuclear*; el significado físico, cuya falta notara Rydberg, era hallado bien poco después de su advertencia. Cuanta arbitrariedad pudiera parecer existente en un principio, en la elección de la nueva variable independiente del sistema atómico, quedaba en absoluto desvanecida.

Pero el hecho de que toda transformación radiactiva producida con emisión de rayos  $\alpha$  (transformación  $\alpha$ ), origine un elemento cuya carga nuclear sea inferior en dos unidades al que le dió nacimiento, y ocupe, por tanto, el sitio anterior al suyo en el sistema periódico; y el de que, por el contrario, toda transformación producida con emisión de un rayo  $\beta$  (transformación  $\beta$ ), eleve la carga nuclear, o sea el número atómico en una unidad, y haga que el nuevo cuerpo producido caiga, *sin variar su masa atómica*, en el sitio siguiente al del cuerpo originario, de paso que permitieron repartir normalmente a todos los elementos radiactivos en el sistema periódico, hicieron nacer el concepto de *isotopía*, en virtud del cual, pueden ocupar el mismo lugar del sistema cuerpos que poseen masa atómica diferente, y el de *isobaría*, por el que cuerpos del mismo peso, pueden ocupar sitios distintos, si distinta fuera su carga nuclear.

Y, si bien se mira, estos dos conceptos que Soddy introdujera en la ciencia con tanto acierto, y acuerdo con la realidad, no son sino el golpe definitivamente mortal asestado al antiguo enunciado de Mendelejeff y Meyer; que si al aparecer el número atómico, quedó aquél reducido a una fórmula de aproximación, después de las pléyades de isótopos y de los isóbaros, la afirmación de que las propiedades de los cuerpos guarden ningún

género de relación con los pesos atómicos, parece sonar con los tonos de la inexactitud o del error.

9. Ahora bien, sustituidos en buen hora los viejos pesos atómicos por los modernísimos números representativos de la carga nuclear y por consiguiente del número de electrones planetarios que cada átomo posee, nuevas especulaciones aparecen, buscando, como antes, la solución más adecuada al sistema de los elementos, y también, como antes, cabe distinguir en ellas, las que todo lo esperan de una variación en el aspecto formal, y las que acometen el problema en sus fundamentos, ya que ahora se ha encontrado el camino, al poder penetrar en la constitución interna del átomo mismo; y aunque los trabajos de Moseley justificaron ya plenamente en todas ellas las transposiciones al parecer anómalas del Ar y K, etc., cuando sólo se consideraban los pesos atómicos, para uno y para otro género de especulaciones siguen siendo, como antaño, puntos oscuros a esclarecer, la cuestión de las triadas y la de las tierras raras que siguen rompiendo el ritmo de la periodicidad.

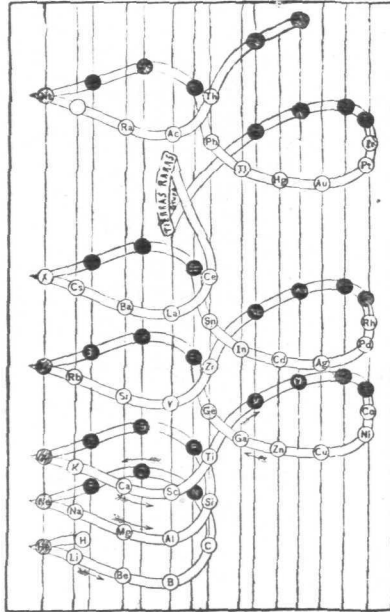
Entre las primeras fórmulas, pueden citarse, entre otras varias, la helizoidal, propuesta por el químico inglés Soddy (1), que viene a ser una modificación de la lemniscática de W. Crookes antes citada; en esta representación que puede observarse en la figura adjunta, hay 6 espiras principales a la izquierda que pueden considerarse arrolladas a una superficie cilíndrica de sección piriforme, en tanto que las tres secundarias de la derecha lo hacen a un cilindro adyacente de sección elíptica o circular; la causa de esta diferencia está en marcar bien claramente la transición brusca de propiedades que hay entre los elementos que ocupan la columna O (1.<sup>a</sup> columna de la izquierda) gases nobles, y los que le preceden o siguen, mientras que la variación es sumamente gradual en las columnas del extre-

---

(1) *The Chemistry of Radioelements*, 1914.

mo opuesto de la derecha, donde, según es fácil ver, se alojan los elementos de las triadas.

Los elementos cuyos símbolos están colocados en círculos blancos, son los que aparecerían en las generatrices anteriores de ambos cilindros y corresponden al carácter electropositivo; aquellos otros que están en círculos negros, caen en las generatrices posteriores y corresponden a elementos electronegativos; los que se encuentran en círculos rayados (lo cual no se distingue muy claramente en el grabado)



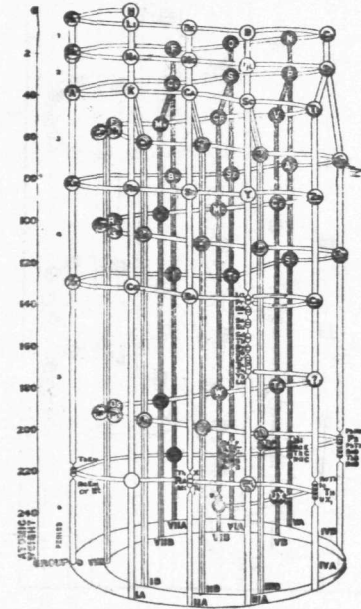
son los que coincidirían casi con la sección meridiana de los cilindros producida por el plano del papel y son precisamente los elementos de transición, según el autor. Los elementos de las tierras raras aparecen refundidos valientemente en un bucle vertical que rompe toda la regularidad del sistema.

Muy semejante a la forma anterior es la preferida por los norteamericanos Harkins y Hall (1) a que corresponde la figura siguiente. En ella se advierte, cómo casi pueden suponerse también, dos cilindros, no como los anteriores, sino tangentes interiormente y de sección circular, en forma que recuerda extraordinariamente la disposición original y muy anterior de

(1) *American Chemical Journal*, XXXVIII, 169, 1916.

nuestro Macpherson, a los que se arrolla, en hélice la sucesión de elementos químicos según su número atómico. Presenta como novedad esta disposición, aparte la colocación de

las pléyades de isótopos radiactivos en sus correspondientes emplazamientos según columnas verticales, la de los elementos de las tierras raras en una forma mucho más explícita que en la clasificación de Soddy y muy semejante a la que ocupan los elementos de las mencionadas pléyades, como corresponde al extraordinario parecido químico de tales cuerpos, aunque con la diferencia impuesta por la ley de Moseley de otorgar a aquellos, números atómicos correlativos diferentes, en tanto que éstas quedan cobijadas bajo un solo número como corresponde a su calidad de isótopos.



Y ante la manifiesta falta de regularidad resultante en el conjunto, afirman los mencionados autores que, siendo la carga nuclear presumiblemente igual al número de electrones exteriores al núcleo, *probablemente la colocación espacial de estos electrones externos será la que determine las propiedades físicas y químicas* que no resultan funciones de aquélla.

Entre las formas planas modernas merece especial mención, por la gran difusión alcanzada y por su valor didáctico, la propuesta por Paneth (1), que no es, realmente, sino modificación

(1) *Zeits. für angewandte Chemie*, 36, 407, 1923.



# GRUPOS

Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
I	1. H 1,008																		2. He 4,00
II	3. Li 6,94	4. Be 9,1											5. B 11,0	6. C 12,00	7. N 14,01	8. O 16,00	9. F 19,0	10. Ne 20,2	
III	11. Na 23,0	12. Mg 24,32											13. Al 27,1	14. Si 28,3	15. P 31,07	16. S 32,06	17. Cl 35,46	18. Ar 39,94	
IV	19. K 39,10	20. Ca 40,07	21. Sc 45,1	22. Ti 48,1	23. V 51,0	24. Cr 52,0	25. Mn 54,93	26. Fe 55,84	27. Co 58,93	28. Ni 58,68	29. Cu 63,57	30. Zn 65,37	31. Ga 67,9	32. Ge 72,5	33. As 74,96	34. Se 79,2	35. Br 79,92	36. Kr 82,9	
V	37. Rb 85,47	38. Sr 87,63	39. Y 88,7	40. Zr 90,60	41. Nb 93,5	42. Mo 96,0	43. — »	44. Ru 101,7	45. Rh 102,9	46. Pd 106,7	47. Ag 107,88	48. Cd 112,4	49. In 114,8	50. Sn 118,7	51. Sb 120,2	52. Te 127,5	53. I 126,92	54. X 130,2	
VI	55. Cs 132,81	56. Ba 137,37	57-71 "	72. Hf 178,10	73. Ta 181,5	74. W 184,0	75. — "	76. Os 190,9	77. Ir 193,1	78. Pt 195,2	79. Au 197,2	80. Hg 200,6	81. Tl 204,0	82. Pb 207,20	83. Bi 209,0	84. Po 210,0	85. — "	86. Fm 222	
VII	87. — "	88. Ra 226,0	89. Ac (227)	90. Th 232,15	91. Pa (231)	92. U 238,2													
VI	57. La;	58. Ce;	59. Pr;	60. Nd;	61. ;	62. Sm;	63. Eu;	64. Gd;	65. Tb;	66. Dy;	67. Ho;	68. Er;	69. Tm;	70. Yb;	71. Lu.				
57-71	139	140,2	140,9	144,2	»	150,4	152,0	157,3	159,3	162,5	163,5	167,7	168,5	173,5	175,0.				

Clasificación de Staigmüller-Paneth.

ligera de otras anteriores, singularmente de las formuladas por H. Staigmüller (1) y Werner (2); dicha clasificación es la representada en la tabla de la página anterior.

Como es fácil ver, dicha disposición, casi no es otra cosa que la misma antigua de Ramsay estirada en un sólo plano, y partiendo en dos trozos los dos primeros períodos, no por el centro, sino después de la segunda columna, supuesto que las de los halógenos y los gases raros se trasladan previamente al extremo de la derecha en forma que abonan no pocas razones; en cuanto a las tierras raras les asigna un sólo puesto, el que corresponde al núm. 57, saltando bruscamente al 72 en la casilla siguiente y colocándolas aparte, ya que no halla forma de hacerlas encajar ni aun en los más largos períodos que en la clasificación resultan.

Otras varias representaciones se han propuesto en estos últimos tiempos en que se rinde culto a la realidad, colocando los elementos raros agrupados en líneas verticales, y sólo mencionaremos como otro tipo, la más reciente de Palmaer (3) que recuerda las primeras disposiciones de Mayer con ocho grupos subdivididos cada uno en dos subgrupos, principal y secundario, y en donde los elementos raros están en dos columnas correspondientes a los subgrupos secundarios de los grupos III y IV, ofreciendo por lo demás esta disposición escaso interés; la única parte digna de mención es, por lo tanto, la que figura en la página siguiente.

10. Entre las fórmulas que acometen el estudio del problema en sus cimientos, merece una especial mención la disposición adoptada por Niels Bohr con ocasión de su memorable Conferencia ante las Sociedades de Física y Química de Co-

---

(1) *Zeit. phys. Chem.*, 39, 245, 1902.

(2) *Berichte*, 95, p. 914, 1905.

(3) *Zeit. für. Physik. Chem.*, 696, 1924.

penhague el 18 de octubre de 1921, acerca de la estructura del átomo y las propiedades físicas y químicas de los elementos.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Cs	Ba	La Pr 61 Eu Tb Ho Tu Cp	Ce Nd Sm Gd Dy Er Yb Hf				
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Ta	W Po	75 85 Os, Ir, Pt Nt

La gran resonancia y difusión que por todo el mundo científico tuvo oportunamente la mencionada disertación, permite en este momento, recordar sumariamente, cómo esbozó en ella una descripción general de la constitución atómica basada principalmente en la teoría de los cuantos, que muy notablemente explicaba muchas de las propiedades de los elementos; cómo de acuerdo con aquella teoría, expuso la constitución electrónica de los diferentes pisos de órbitas que debían existir en torno al núcleo atómico de los diversos cuerpos simples, y cómo resultaba, por consecuencia, que en cada nuevo período del sistema tomaba nacimiento una nueva zona en que los electrones se iban añadiendo uno a uno, de tal modo, que considerando los gases nobles como elementos finales de cada período, se obtenía para aquéllos la siguiente distribución, dentro de cada órbita:

He.....	2			Kr.....	2	8	18	8		
Ne.....	2	8		X.....	2	8	18	18	8	
A.....	2	8	8	Rd.....	2	8	18	32	18	8;

cómo de acuerdo con puntos de vista sustentados principalmente por Ladenburg y considerando la diversa estabilidad de las configuraciones exteriores, podía en algún caso ocurrir, que el aumento de un electrón en la zona periférica obligara a una modificación en la configuración de sus órbitas, provocando incluso la aparición de otras intermedias antes no existentes al parecer, estableciéndose de este modo perturbaciones en la regularidad del crecimiento electrónico de la zona exterior, que explicaban perfectamente ciertos rasgos esenciales de los espectros de alta frecuencia y que coincidían exactamente con las anomalías que en la periodicidad de las propiedades presentaban los tan inexplicados grupos de las triadas y de las tierras escasas.

Fundándose, pues, en una bien razonada doctrina que por vez primera daba satisfacción teórica plena a una multitud de hechos antes aparentemente ilógicos, Bohr adoptó en la ocasión citada la disposición siguiente, que según su propia afirmación, había construido bajo la impresión del recuerdo de una distribución treinta años más antigua, debida al químico danés Julius Thomsen (1); en rigor, una disposición parecida había sido adoptada también por otros autores, entre ellos Richards (2) y sobre todo Bayley (3), quien debe sin duda alguna ser considerado como el precursor; también la propuesta por E. Quincy Adams en 1911 (4) guarda notables parecidos con ella.

Los elementos que aparecen encuadrados son los que poseen un grupo intermedio de órbitas electrónicas en fase de reconstrucción; las líneas oblicuas señalan las analogías entre los elementos a quienes afectan.

---

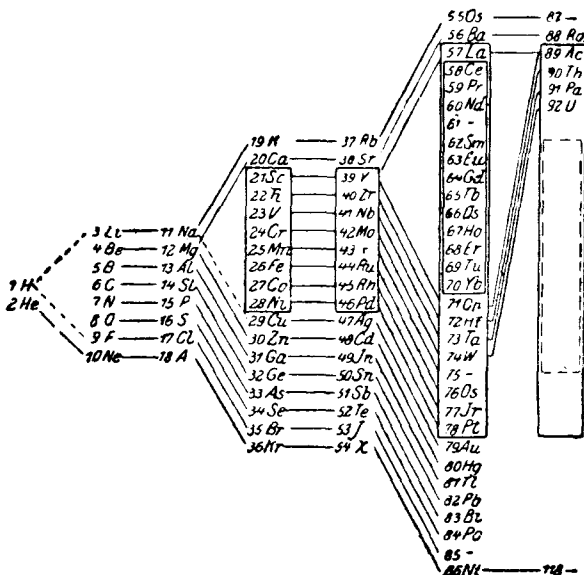
(1) *Zeits. Anorg. Chem.*, **9**, 190, 1895.

(2) *Chemical News*, pág. 194, 1898.

(3) *Phil. Mag.*, **13**, 26, 1882.

(4) *Das Periodische System der chemischen elementen*, E. Schmidt, pág. 101, 1917.

11. Mas si el magistral trabajo de Bohr, no deja nada que desear en el sentido de justificar las clásicas anomalías del sistema periódico, no conviene olvidar que la teoría ha sido elaborada teniéndolas en cuenta, y que, por lo tanto, por muy



bien explicadas que aparezcan, no queda anulada la sospecha de que hay algo, aún no encontrado, causante de la irregularidad que aquéllas producen en la sistematización casi perfecta con que el sistema periódico comienza.

Es decir, que no obstante la teoría de Bohr, es difícil renunciar a la aspiración por tantos autores y durante tanto tiempo perseguida de conseguir una mayor regularidad y simetría en el sistema periódico.

Y en este punto, ante una cuestión que planteada hace tanto tiempo, recata tan obstinadamente su solución a los más eminentes pensadores, vale la pena de someterla a un análisis minucioso, no con la vana pretensión de resolverla, sino sim-

plemente para poder decidir acerca de si se trata de un problema para cuya resolución no existen aún datos experimentales suficientes y cabe por tanto la esperanza de que algún día se posean, o bien si no obstante lo atrayente de sus perspectivas, hay que considerarla solamente por su imposibilidad como el producto de una alucinada obstinación.

#### IV

12. De una parte, examinemos la cuestión de qué cosas son aquéllas cuya sistematización se pretende: se contestará que los elementos químicos.

¿Pero es que la idea que hoy tenemos de elemento químico es la misma que en otras épocas? En modo alguno.

El concepto de elemento químico es uno de tantos otros que, como el de átomo, ha experimentado en estos últimos tiempos una radicalísima transformación; hace unos cuantos años, al hablar de elemento químico, todo el mundo entendía, desde un punto de vista experimental, que era ese algo común que se encontraba en todas las especies químicas compuestas y en las variedades alotrópicas a las que correspondía por efectos del análisis, un mismo nombre específico, y que quedaba definido por un espectro y un peso atómico característicos (1); desde un punto de vista termodinámico, el elemento químico era un sistema que no podía ser jamás sino de *primer orden* (2), puesto que su constituyente *único* se creía entonces irreductible.

Pero si las transformaciones radiactivas han dado al traste con esta última definición, los prodigiosos descubrimientos comenzados por Aston (3) en 1920, extendiendo la isotopía a

---

(1) A. Gramont. *Acuerdos del Congreso Internacional de Química*, París, 1900.

(2) G. Urbain. *Notions fondamentales d'element chimique et d'atome*, 1925.

(3) *Phil Mag.*, 39, 449, 1920.

una multitud de cuerpos simples no radiactivos, han echado abajo por completo, en todos sus puntos, la primera.

La Comisión Internacional de los elementos químicos ha declarado en su primer informe de 1923, que *provisionalmente* al menos, el *elemento químico* debe quedar definido suficientemente por el *número atómico*; las pléyades de isótopos, que no obstante poseer masa atómica diferente y el mismo espectro, posean una misma carga nuclear, serán considerados como un sólo elemento por efecto de este acuerdo.

Pero es el caso, que a más del conflicto, que la definición admitida crea, con la noción intuitiva que corrientemente se posee de elemento químico; a más de poseer los isótopos masa atómica diferente, la identidad de sus demás propiedades sólo puede ser admitida en tanto cuanto que los medios de que disponemos para apreciarlas, no posean el grado suficiente de finura y precisión; tanto es así, que el propio Aston consiguió fraccionar el Neon por una atmólisis cuidadosa; Harkins y sus colaboradores, también por atmólisis, llegaron en 1920 a concentrar los dos isótopos del cloro; Bronsted y Hevesy, en Copenhague, por una destilación fraccionada, obtuvieron dos porciones de mercurio de distinta densidad, como confirmaron después Laby y Mephane por un lado y Mulliken y Harkins por otro; Egerton, por fin, ha obtenido resultados muy semejantes con el cinc por un procedimiento parecido.

Habida cuenta de estas circunstancias, y considerando además que las masas atómicas obtenidas por Aston, Dempster, etcétera, están siempre representadas por números enteros, no se considerará un grave pecado, el que soslayando un tanto por el momento la definición de elemento químico adoptada provisionalmente por la Comisión Internacional, consideremos como una primera necesidad la de tomar en cuenta como propiedad capaz de servir de base a una primera diferenciación, la *masa atómica* obtenida por los métodos llamados de espectro-

grafía de masa y definir por tanto el *verdadero elemento químico* por el conjunto de su *masa atómica y su carga nuclear*, bastando pues que varíe una cualquiera de ambas características, para que a nuestro entender, pueda ser considerado el átomo a que corresponda, que será en rigor distinto, como perteneciente a un *verdadero elemento* diferente.

De este modo quedarán, por de pronto, sin sentido los conceptos de isotopía y de isobarismo; las actuales pléyades de isótopos que usualmente se conocen con el nombre impropio de *cuerpos simples*, las designaremos con tal denominación de *antiguos elementos* para no confundirlas con los *verdaderos elementos*, definidos como queda dicho: es decir, que *antiguo elemento* será el conjunto heterogéneo de átomos de diferente peso e igual carga nuclear, y *verdadero elemento* sólo aquel cuyos átomos, absolutamente homogéneos, posean masa, carga nuclear o ambas cosas, distintas de las demás.

Sentado con toda claridad este criterio, será igualmente clara la resolución que deba darse a la cuestión, al principio de este capítulo planteada; lo que interesa sistematizar no es, ni puede ser, ese conjunto de *antiguos elementos*, esos viejos cuerpos simples que el análisis astoniano nos ha demostrado no merecer con propiedad tales nombres; lo que interesa verdaderamente sistematizar, es esa diversidad de átomos que la naturaleza nos ofrece; es decir, el conjunto de los *verdaderos elementos* químicos, en la rigurosa acepción etimológica de la palabra *elemento*.

Fácil sería conocer, por tanto, la totalidad de individuos a clasificar, si la espectrografía de masa nos hubiera suministrado ya, el análisis de todos los *antiguos elementos* químicos; pero aún faltan algunos por examinar; las tablas internacionales no están aún completas (1). Ante la falta de medidas directas de

---

(1) *Table internationale des isotopes*, 1926.



ellos, haremos uso, con ciertas reservas, de la lista de isótopos calculada por A. S. Russell (1). Este profesor de Oxford, ha comparado los isótopos radiactivos conocidos con los isótopos experimentales de los elementos inactivos, discutiendo sus puntos de semejanza y sus diferencias; y generalizando atrevidamente a los últimos, las reglas que él, Fajans y otros encontraron que se cumplían en los primeros; y estudiando además las circunstancias que se dan en los resultados de Aston (2), ha llegado a dar una tabla de masas atómicas probables, constituyentes de una lista bastante numerosa de antiguos elementos, algunos de los cuales han sido sometidos con posterioridad, por Aston, a su análisis, y confirmado, con muy pocas excepciones, la exactitud de la predicción; no existiendo, pues, otro recurso mejor, nos serviremos, cuando no haya otro remedio, de los datos aludidos.

**13.** Resuelta así la cuestión relativa al sujeto primordial de la sistematización, parece lógico pensar que toda tentativa de ordenación racional de los verdaderos elementos químicos, o sea de sus respectivos átomos, habrá de hacerse forzosamente tomando en cuenta a la vez las dos regiones que en el átomo hay que considerar, núcleo y periferia; ya que ambas marcan sus particulares influencias en las propiedades del conjunto.

Por lo que toca al primero, y sin perjuicio de insistir más tarde en las relaciones de constitución que parecen marcarse entre los diversos elementos, ya queda dicho de qué modo la masa atómica deberá ser tenida en cuenta en la ordenación.

Por lo que se refiere a la segunda, será preciso que analicemos con cuidado lo referente a su organización, pues si bien para conocer la cuantía total de la carga nuclear nos basta con conocer el número atómico o de orden de cada elemento, es

---

(1) *Phil. Mag.*, 365, Septiembre 1924.

(2) Widdowson y Rusell. *Phil. Mag.*, 301, 1924.

lo cierto que, en muchos casos, no basta este solo dato para poder formar juicio definitivo en una multitud de cuestiones a las que afecta, como habrá ocasión de ver más adelante.

Examinando, por tanto, el estado actual de cuestión tan importante, nos hallamos con lo siguiente: de una parte Stoner (1), de Cambridge, tomando en cuenta estudios anteriores de Landé (2), según los cuales los pisos atómicos que intervienen en los espectros de alta frecuencia pueden ser clasificados por medio de los tres números cuánticos,  $n$  (total),  $k$  (azimutal) y  $j$  (interno), en la forma que se detalla en la tabla siguiente,

PISO →	$K$	$L$			$M$				
SUBPISOS →		$L_I$	$L_{II}$	$L_{III}$	$M_I$	$M_{II}$	$M_{III}$	$M_{IV}$	$M_V$
Valores de $n$ →	1	2	2	2	3	3	3	3	3
$k$ →	1	1	2	2	1	2	2	3	3
$j$ →	1	1	1	2	1	1	2	2	3

establece un diagrama completo de la distribución de electrones a lo largo de la tabla periódica, que modifica bastante la dada por Bohr, y para la que parte del siguiente postulado: «el número de electrones en cada piso completo es igual al doble de la suma de los cuantos internos que tenga asignados; y por consiguiente, el número de electrones asociados con cada subpiso, separadamente considerado, es también igual al doble de su número cuántico interno.»

Esto se comprende mejor a la vista del diagrama siguiente, en el que sólo figuran los gases raros, cuya órbita más externa

(1) *Phil. Mag.*, **48**, 719, 1924.

(2) *Zeits. fur Physik.*, **16**, 391, 1922.

posee siempre, como es sabido, el número completo de electrones que le corresponde.

Elemento.	Número atómico.	Ísoto	Valor de $n$ .	SUBPISOS						
				I	II	III	IV	V	VI	VII
				Valores de $k$ y de $j$ .						
				1-1	2-1	2-2	3-2	3-3	4-3	4-4
NÚMERO DE ELECTRONES										
He	2	K	1	2						
Ne	10	L	2	2	2	4				
A	18	M	3	2	2	4	(4 6)			
Kr	36	N	4	2	2	4	(4 6)	6	8	
Xe	54	O	5	2	2	4	(4 6)			
Nt	86	P	6	2	2	4				

Prescindiendo en el esquema de las dos primeras columnas de la izquierda, éste nos dice que cada piso, cuando esté completo, posee el número total de electrones que siguen a su derecha: el piso  $K = 2$ , el  $L = 2 + 2 + 4 = 8$ , el  $M = 2 + 2 + 4 + 4 + 6 = 18$ , etc, donde se ve que el número de electrones de cada casilla es justo el doble del valor de  $j$  que le corresponde, o sea del número de la derecha que hay en el encabezamiento de cada subpiso.

Considerando el esquema en su totalidad, y teniendo en cuenta las líneas gruesas en él trazadas, debe entenderse que el Helio, por ejemplo, sólo tiene un piso  $K$ , con dos electrones;

el Ne que sigue, tiene el piso *K* completo como el anterior, y a más el *L*, con tres subpisos que poseen 2, 2, 4 electrones, respectivamente, = 8 en total; el Ar con los pisos *K* y *L* completos, con 2 y 8 electrones, y el *M* con sólo tres subpisos, que tienen 2, 2 y 4 = 8 electrones; el Kripton, con los pisos *K*, *L* y *M* completos, o sean 2, 8 y 18 electrones, y a más el piso *N* con tres subpisos y 8 electrones; el Xenon, con los pisos *K*, *L*, *M* y *N* completos y tres subpisos en el *O*, etc.

De otra parte, Sommerfeld, el hombre de ciencia a quien tanto debe el actual estado de nuestros conocimientos en este punto, basándose en el estudio de los espectros ópticos y muy principalmente en los trascendentales descubrimientos realizados recientemente en lo que atañe a las regularidades de aquellos por el profesor español Miguel Catalán, cuyo elogio y ponderación tan grato me es hacer en estos momentos, afirma en 1925 (1) que el esquema de distribución propuesto por Stoner a fines del año anterior, representa un gran progreso, y establece la correlación entre la nomenclatura de Stoner, la suya y la corrientemente empleada para los términos ópticos, del modo siguiente:

<i>K</i>	<i>L</i> <sub>I</sub>	<i>L</i> <sub>II</sub>	<i>L</i> <sub>III</sub>	<i>M</i> <sub>I</sub>	<i>M</i> <sub>II</sub>	<i>M</i> <sub>III</sub>	<i>M</i> <sub>IV</sub>	<i>M</i> <sub>V</sub>	<i>N</i> <sub>I</sub>	<i>N</i> <sub>II</sub>	<i>N</i> <sub>III</sub>	<i>N</i> <sub>IV</sub>	<i>N</i> <sub>V</sub>	<i>N</i> <sub>VI</sub>	<i>N</i> <sub>VII</sub>
<i>K</i>	<i>L</i> <sub>11</sub>	<i>L</i> <sub>21</sub>	<i>L</i> <sub>22</sub>	<i>M</i> <sub>11</sub>	<i>M</i> <sub>21</sub>	<i>M</i> <sub>22</sub>	<i>M</i> <sub>32</sub>	<i>M</i> <sub>33</sub>	<i>N</i> <sub>11</sub>	<i>N</i> <sub>21</sub>	<i>N</i> <sub>22</sub>	<i>N</i> <sub>22</sub>	<i>N</i> <sub>33</sub>	<i>N</i> <sub>43</sub>	<i>N</i> <sub>44</sub>
1 <i>s</i>	2 <i>s</i>	2 <i>p</i> <sub>1</sub>	2 <i>p</i> <sub>2</sub>	3 <i>s</i>	3 <i>p</i> <sub>1</sub>	3 <i>p</i> <sub>2</sub>	3 <i>d</i> <sub>2</sub>	3 <i>d</i> <sub>3</sub>	4 <i>s</i>	4 <i>p</i> <sub>1</sub>	4 <i>p</i> <sub>2</sub>	4 <i>d</i> <sub>2</sub>	4 <i>d</i> <sub>3</sub>	4 <i>f</i> <sub>3</sub>	4 <i>f</i> <sub>4</sub>

La primera fila es la designación de los pisos de niveles de órbitas, según la idea de Bohr, propuesta por Stoner.

La segunda es la propuesta por Sommerfeld en la última edición de su obra *Atombau y spectrallinien*, donde los dobles índices representan los números cuánticos *k* y *j* de Landé.

La tercera representa los términos ópticos de los dobletes hallados en los metales alcalinos, con los cuales se correspon-

---

(1) *Phys. Zeit.*, 26, 70, 1925.

den exactamente los de encima, con subíndices correspondientes al número cuántico  $j$ .

Sommerfeld, de acuerdo con Stoner, admite también que cada subgrupo es absolutamente completado a medida que va creciendo el número atómico, y cuando esto sucede, una configuración simétrica de las órbitas se consigue.

Al lado de esto, R. Swine (1), también en 1925, tomando como fundamento los dos trabajos anteriores y otros en que Sommerfeld estudia el color de las sales, la valencia química de los elementos y sus propiedades magnéticas, recoge, como no podía por menos, los notables trabajos de otro preclaro español, el profesor Cabrera, a quien precisamente se debe el desentrañamiento de la estructura atómica de los elementos de las triadas y de las tierras raras, y cuyo debido elogio no acertaría a formular en estos momentos por temor a que pareciera inspirado por el afecto, lo que no sería nunca sino una pequeña parte de lo que le correspondería en justicia.

Y con la suma de todos estos antecedentes, acomete Swinne, la tarea de formular detalladamente, con toda la precisión que permiten los conocimientos adquiridos hasta la fecha de su publicación, unas tablas en que consta la construcción electrónica periférica de los átomos químicos que poseen un número atómico diferente; estas tablas, que vienen a sustituir a la análoga de Bohr de 1921, son las que se insertan en las siguientes páginas (2):

---

(1) *Zeits. Electrochem*, **31**, 417, 1925.

(2) En estas tablas se entenderán repetidos, de arriba abajo, si explícitamente no lo estuvieran, los números de electrones de cada nivel a medida que éstos vayan poseyendo el doble del número cuántico  $j$ ; no se omitirán nunca los que corresponden al nivel más externo, ni a los intermedios en reorganización.

NIVELES →		$K_1$	$L_1$	$L_{II}$	$L_{III}$	$M_1$	$M_{II}$	$M_{III}$	$M_{IV}$	$M_V$	$N_I$	$N_{II}$	$N_{III}$	$N_{IV}$	$N_V$	$N_{VI}$	$N_{VII}$	$O_I$	$O_{II}$	$O_{III}$	$O_{IV}$	$O_V$	$O_{IX}$	$P_I$	$P_{II}$	$P_{III}$	$P_{IV}$	$P_{XI}$	$P_{XII}$	$Q_I$	$Q_{II}$				
Valores de	$n$	→	$k$	$j$	→																														
	H	1	1	1	2																														
	He	2	1	1	2																														
	Li	3	2	2	2	1																													
	Be	4	2	2	2	1																													
	B	5	2	2	2	2																													
	C	6	2	2	2	2																													
	N	7	2	2	2	2	1																												
	O	8	2	2	2	2	2																												
	F	9	2	2	2	2	2																												
	Ne	10	2	2	2	2	2																												
	Na	11																																	
	Mg	12																																	
	Al	13																																	
	Si	14																																	
	P	15																																	
	S	16																																	
	Cl	17																																	
	A	18																																	
	K	19	2	2	2	4																													
	Ca	20																																	
	Sc	21																																	
	Ti	22																																	
	V	23																																	

SÍMBOLOS Y NÚMEROS ATÓMICOS

NIVELES $\rightarrow$	$K$			$L$			$M$			$N$			$O$			$P$			$Q$											
	$K_I$	$L_I$	$L_{II}$	$M_I$	$M_{II}$	$M_{III}$	$M_{IV}$	$M_V$	$N_I$	$N_{II}$	$N_{III}$	$N_{IV}$	$N_V$	$N_{VI}$	$N_{VII}$	$O_I$	$O_{II}$	$O_{III}$	$O_{IV}$	$O_V \dots$	$O_{IX}$	$P_I$	$P_{II}$	$P_{III}$	$P_{IV} \dots$	$P_{XI}$	$Q_I$	$Q_{II} \dots$		
Cr 24	1	2	2	3	3	3	3	4	1	2	2	4	4	4	1	2	2	5	5	1	1	1	2	2	2	6	6	7		
Mn 25	1	1	2	2	2	4	3	2	1	2	2	3	4	4	1	2	2	3	3	1	2	2	2	3	3	3	6	1	2	
Fe 26	1	1	1	1	2	4	3	3	1	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	2	
Co 27	1	1	1	2	2	4	3	4	1	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Ni 28	1	1	1	2	2	4	3	5	(2)	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Cu 29	1	1	1	2	2	4	4	6	1	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Zn 30	1	1	1	2	2	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Ga 31	1	1	1	2	2	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Ge 32	1	1	1	2	2	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
As 33	1	1	1	2	2	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Se 34	1	1	1	2	2	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Br 35	1	1	1	2	2	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Kr 36	1	1	1	2	2	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Rb 37	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Sr 38	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Y 39	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Zr 40	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Nb 41	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Mo 42	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Mo 43	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Ru 44	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Rh 45	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Pd 46	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Ag 47	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
Cd 48	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	
In 49	2	2	2	4	4	4	4	6	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	

SIMBOLOS Y NÚMEROS ATÓMICOS

NIVELES →	K <sub>I</sub>		L <sub>I</sub>	L <sub>II</sub>	L <sub>III</sub>	M <sub>I</sub>	M <sub>II</sub>	M <sub>III</sub>	M <sub>IV</sub>	M <sub>V</sub>	N <sub>I</sub>	N <sub>II</sub>	N <sub>III</sub>	N <sub>IV</sub>	N <sub>V</sub>	N <sub>VI</sub>	N <sub>VII</sub>	O <sub>I</sub>	O <sub>II</sub>	O <sub>III</sub>	O <sub>IV</sub>	O <sub>V</sub>	O <sub>VI</sub>	O <sub>VII</sub>	O <sub>VIII</sub>	O <sub>IX</sub>	P <sub>I</sub>	P <sub>II</sub>	P <sub>III</sub>	P <sub>IV</sub>	P <sub>V</sub>	P <sub>VI</sub>	P <sub>VII</sub>	Q <sub>I</sub>	Q <sub>II</sub>		
	Valores	n	k	j																																	
50	2	2	2	4																																	
51	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
52	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
54																																					
55																																					
56																																					
57																																					
58																																					
59																																					
60																																					
61																																					
62																																					
63																																					
64																																					
65																																					
66																																					
67																																					
68																																					
69																																					
70																																					
71																																					
72																																					
73																																					
74																																					

SÍMBOLOS Y NÚMEROS ATÓMICOS



NIVELES → $n$ ↓ $k$ ↓ $j$ ↓ Valores	$K_i$		$L_i$		$M_i$		$M_{II}$		$M_V$		$N_i$		$N_{II}$		$N_V$		$N_{VI}$		$O_i$		$O_{II}$		$O_V$		$O_{IX}$		$P_i$		$P_{II}$		$P_{III}$		$P_{IV}$		$P_{XI}$		$Q_i$		$Q_{II}$													
	$L_i$	$L_{II}$	$L_{III}$	$L_{IV}$	$M_i$	$M_{II}$	$M_{III}$	$M_{IV}$	$M_V$	$N_i$	$N_{II}$	$N_{III}$	$N_{IV}$	$N_V$	$N_{VI}$	$O_i$	$O_{II}$	$O_{III}$	$O_{IV}$	$O_V$	$O_{IX}$	$P_i$	$P_{II}$	$P_{III}$	$P_{IV}$	$P_{XI}$	$Q_i$	$Q_{II}$	$Q_{III}$	$Q_{IV}$	$Q_{V}$	$Q_{VI}$	$Q_{VII}$	$Q_{VIII}$	$Q_{IX}$	$Q_{X}$	$Q_{XI}$	$Q_{XII}$														
Os 75	2	2	4	2	2	4	0	6	8	2	2	4	4	6	8	2	2	4	4	1	(2)																															
Ir 77	1	1	2	2	3	3	3	4	4	1	2	2	3	4	4	1	2	2	3	3	(2)																															
Pt 78	1	1	1	2	1	2	2	3	3	1	1	2	2	3	4	1	1	2	2	3	(2)																															
Au 79																																																				
Hg 80																																																				
Tl 81																																																				
Pb 82																																																				
Bi 83																																																				
Po 84																																																				
At 85																																																				
Fm 86																																																				
Ra 87																																																				
Ac 88																																																				
Th 90																																																				
Pa 91																																																				
U 92																																																				
...																																																				

SÍMBOLOS Y NÚMEROS ATÓMICOS

La interpretación de la tabla anterior se comprende fácilmente con algunos ejemplos: el átomo de un elemento cualquiera, por ejemplo, el núm. 15, o sea del fósforo, posee completos los pisos  $K$  y  $L$  con sus tres subpisos  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ , y aun tiene las tres órbitas más externas  $M_I$ ,  $M_{II}$  y  $M_{III}$ , en las que posee respectivamente 2-2-1 electrones; como la valencia química depende del número de estas partículas que el elemento posea en su zona externa, quiere decir que el elemento en cuestión será pentavalente cuando intervengan en la combinación todos los electrones de los tres niveles  $M_I$ ,  $M_{II}$  y  $M_{III}$ , y si se considera que a este último le faltan aún tres electrones para saturarse, ya que el  $M_{III}$  sólo puede contener cuatro (doble del número cuántico  $j$  que le corresponde), se comprenderá que puede funcionar también con tres valencias negativas.

El átomo de carbono núm. 6, que tiene dos y dos electrones en sus dos órbitas más externas, será tetravalente o divalente, según intervengan en la combinación los de una órbita sólo o los de ambas.

En algunas regiones de la tabla, que son las correspondientes a los elementos de las triadas Fe, Co, Ni . . . . ., etc., y los metales de las tierras escasas, se advierte que el número de electrones de la zona más externa, permanece constante, al contrario de lo que pasa en las demás regiones, y en cambio crecen de uno en uno niveles que empiezan a formarse en un piso más profundo que aquél, siendo esta la causa, según Ladenburg y Cabrera, del paramagnetismo, que en tales elementos se presenta al mismo tiempo que de las anomalías o irregularidades en el sistema periódico, como más adelante habrá ocasión de señalar.

Si en algunos elementos, Cobalto, por ejemplo (núm. 27), sustraemos de los niveles más externos tres electrones, es decir, consideramos el ión trivalente a que tal átomo neutro puede dar lugar, observaremos que en los niveles que siguen quedan

fácilmente grupos de seis electrones a cuenta de los cuales se pueden formar, según Stoner, los complejos wernerianos, etc.

No obstante lo dicho, Cabrera, como consecuencia de sus ya aludidas investigaciones acerca del paramagnetismo de las tierras raras y de los elementos de las triadas, en sus iones simples y complejos, afirma (1) su creencia de que la evolución electrónica en la familia del hierro, sigue un orden inverso al que se manifiesta en el grupo de elementos raros, y al que por consiguiente le atribuye Swinne en la tabla anterior; la configuración electrónica de los pisos en vías de formación para los iones de aquellos elementos, es, según Cabrera, la siguiente:

	SUBGRUPOS				
	$M_I$	$M_{II}$	$M_{III}$	$M_{IV}$	$M_V$
Ti <sup>IV</sup> .....	2	2	4	0	0
V <sup>IV</sup> — Ti <sup>III</sup> .....	2	2	4	0	1
V <sup>III</sup> — Ti <sup>III</sup> .....	2	2	4	0	2
Cr <sup>III</sup> — V <sup>II</sup> .....	2	2	4	0	3
Mn <sup>III</sup> — Cr <sup>II</sup> .....	2	2	4	0	4
Fe <sup>III</sup> — Mn <sup>II</sup> .....	2	2	4	1	4
Co <sup>III</sup> — Fe <sup>II</sup> .....	2	2	4	2	4
Co <sup>II</sup> .....	2	2	4	2	5
Ni <sup>II</sup> .....	2	2	4	2	6
Cu <sup>II</sup> .....	2	2	4	4	5
Cu <sup>I</sup> .....	2	2	4	4	6

En posesión ya con esto (12) de una lista de *masas atómicas* completa entre seguras y probables, representativas de todos los *elementos químicos* conocidos, y conociendo la constitución electrónica periférica más probable, según un gran número de indicios (la tabla anterior no puede considerarse exenta total-

(1) *Revista de la Real Academia Ciencias*, diciembre 1926.

mente de defectos) de todos los números atómicos existentes hasta el día, procede acometer el estudio de la posibilidad de ordenación regular de las primeras y ello será objeto del capítulo siguiente.

## V

**14.** Imaginemos una sucesión de amplios alojamientos celulares, numerados y agrupados según el orden creciente de la serie natural de los números enteros.

Supongamos a cada uno de dichos alojamientos, subdividido mediante una cuadrícula, en dos grupos de compartimentos numerados también, de tal modo, que los contiguos difieran entre sí horizontalmente en una unidad y verticalmente en dos unidades. Dispongamos después las células mayores una junto a otra, de tal manera que, sin que se altere el orden natural de su numeración, se empalmen entre sí sus compartimentos respectivos en forma tal, que constituyan filas horizontales cuyos índices numéricos formen asimismo una serie ininterrumpida, con idéntica ordenación natural.

Si admitimos ahora que los índices de los alojamientos grandes representan *números atómicos* y los números de los compartimentos menores *masas atómicas*, resultará que: 1.º Cada elemento químico definido por un par de valores de las mencionadas variables, tendrá un sitio inconfundible en un semejante sistema de clasificación. 2.º Algunos de los mencionados emplazamientos poseerán índices atómicos de número y masa que no cuadrarán a ninguno de los elementos químicos hoy conocidos.

Procedamos a colocar cada elemento químico en su sitio preciso, dejando vacantes aquellos lugares a quienes así corresponda, de acuerdo con lo antedicho.

Y hecho esto, fraccionemos en porciones o zonas la lista general de elementos que resulte y coloquemos aquellas fracciones o zonas en la posición relativa que acuse un máximo de regularidad, de acuerdo, en primer lugar, con la distribución de los electrones periféricos, cuando dicha distribución sea bien conocida, y en todo caso, atendiendo a que se destaquen lo más posible las analogías en las propiedades que, en fin de cuentas, son el resultado experimental de aquella distribución.

Procediendo con este criterio; preescindiendo por el momento del elemento hidrógeno por las circunstancias singulares que en él concurren; y renunciando también de momento, por dificultades gráficas, a una representación espacial que, sin duda, sería preferible, una ordenación lógica de los *verdaderos elementos* químicos hoy conocidos comenzaría de un modo semejante al que figura en la página siguiente.

Aparecen allí a la vista, tres zonas superpuestas: la primera, que se compone de una sola fila de elementos, impone su organización a las demás. En ella, a cada número atómico parecen corresponder dos columnas de masas atómicas, una par y la otra impar; conservando esta distribución para las restantes, puesto que a ella conducen los valores numéricos, se advierte que la segunda zona posee netamente dos filas de masas atómicas distribuidas por cierto con rara simetría y tres la tercera; verificándose siempre que cada masa atómica ocupa el sitio que le corresponde en una serie ininterrumpida de números enteros cuyo comienzo es anterior al elemento (2-4) (1) o sea el Helio, primero que figura en la ordenación.

Pero lo que antes salta a la vista es, cómo a pesar de esta condición impuesta, aparecen ordenados los antiguos elemen-

---

(1) Los elementos químicos vendrán expresados por los dos índices representativos de su carga y masa nucleares respectivamente.

<b>(1)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	}	1. <sup>a</sup>
<b>(2)</b>	He	Li Li	Be	B B	C	N	O	F		
<b>(3)</b>	4	6 7	9	10 11	12	14	16	19		

<b>(1)</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	}	2. <sup>a</sup>
<b>(2)</b>	Na	Na	Mg Mg	Al	Si Si	P	S	Cl		
<b>(3)</b>	20	23	24 25	27	28 29	31	32 33	35		

<b>(1)</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	}	3. <sup>a</sup>
<b>(2)</b>	A	K	Ca	Sc	Ti	V				
<b>(3)</b>	36	39	40	45						

- (1) Números atómicos.
- (2) Símbolos.
- (3) Masas atómicas.

tos, según sus analogías, de un modo tan perfecto como en las representaciones usuales y desde luego más expresivo.

Obsérvase, que hasta el elemento 20-40 (calcio) no se pierde la fila horizontal iniciada en la primera zona considerada, pero que desde aquí, no vuelve a encontrarse ni un sólo número más en dicha fila, en tanto que la seriación prosigue sin tanta regularidad en líneas horizontales inferiores; y es bien interesante notar, que es precisamente en este punto donde comienza el grupo de elementos, en que, saturado de electrones el subpiso  $N_1$  (véase tabla de Swinne, pág. 48) continúa el crecimiento electrónico por aumento de los pisos más internos  $M_{IV}$  y  $M_V$  según Swinne o  $M_V$  y  $M_{IV}$  según Cabrera; es decir, que empieza allí el grupo de elementos llamados de transición en el cual vale la pena de fijar la atención.

Acostúmbrase corrientemente a situar al cromo en la columna iniciada por el azufre; y al manganeso en la encabezada por los halógenos, siguiendo después, la primera triada Fe Co Ni fuera del cuadro general de los demás cuerpos simples.

Efectivamente, al elemento 24-52 (cromo) corresponde el emplazamiento indicado, un lugar más allá del 23-51 (vanadio) en el orden lógico de los números; es además innegable que el átomo del cromo debe parecerse al del azufre en los compuestos en que actúe como exavalente positivo,  $CrO_3$  análogo al  $SO_3$ , y por consiguiente en los cromatos  $CrO_4M_2$  análogos a los sulfatos: debe, pues, poseer 6 electrones en su zona externa como al azufre sucede; pero no es menos verdad que no puede compararse a dicho elemento más que en esto; el azufre actúa además como divalente negativo; es decir, que a su última órbita  $M_{III}$  le faltan aún 2 electrones para estar completa con los 4 que exige su número cuántico  $j = 2$ ; aquello no le pasa jamás al cromo, luego es forzoso inducir, que en ninguna de sus órbitas externas habrá un número de electrones en las condiciones mencionadas para los de la órbita  $M_{III}$  en el

azufre; admitiendo el modo de expresión recientemente propuesto por Maine Smith (1) en su teoría acerca de la afinidad *duplex*, el átomo de azufre posee una afinidad primaria negativa y el cromo positiva; en cambio de esto, el cromo posee un ión divalente en los compuestos cromosos muy inestables y un ión trivalente en el óxido  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y en los demás compuestos crómicos de perfecta estabilidad, cuyo parecido con los compuestos de aluminio es innegable; la organización electrónica periférica del cromo debe por tanto responder a todas estas posibilidades, y por consiguiente lo más juicioso y expresivo sería no encuadrar al cromo en un único alojamiento; sino más bien atribuirle varios lugares en la ordenación; por lo menos, uno donde es costumbre, y otro en la columna donde se hallan los elementos capaces de originar cationes francamente trivalentes.

Algo semejante debe pasarle al manganeso, que es el elemento que sigue: en efecto, el *elemento verdadero* 25-55 con quien este viejo cuerpo simple se confunde exactamente, debe caer en el encasillado, por la fuerza del orden numérico, convenido, justo donde acostumbra, o sea en la columna de los halógenos. Pero es bien evidente que fuera de los permanganatos, de fórmula análoga a las peroxisales haloideas, no es fácil aducir otra semejanza; pero la posibilidad y relativa estabilidad del catión simple divalente, o sea su afinidad primaria positiva, llevaría francamente a este cuerpo simple hacia el extremo opuesto a aquél donde ordinariamente figura; a más, donde puede afirmarse que este elemento posee su máxima estabilidad, es en los que manifiesta francamente su tetravalencia, como en los  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  y  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ; por todo lo cual, parece lógico, que la zona periférica de su átomo pueda explicar esta hepta, bi y tetravalencia, y además el que este elemento pueda y deba

---

(1) *Chemistre & Industry*, 944, 1925.



ser colocado en más de un sitio de la ordenación por razón de sus aludidas analogías.

Semejante proceder, aceptando lo que pudiera llamarse *politopismo* (por contraposición con el concepto corriente de isotopía), un poco en pugna a primera vista con las prácticas corrientemente establecidas, no debe inquietar lo más mínimo a nuestro espíritu, siempre dispuesto a acomodarse a las exigencias de la realidad; y ésta há mucho que puso de manifiesto el variado comportamiento de diversos elementos químicos y entre ellos aquellos a que se refieren las presentes consideraciones; fenómeno hoy, por otra parte, perfectamente explicable, si se admite, como no puede por menos de hacerse, que la distribución electrónica de las órbitas más externas del átomo está muy lejos de ser inmutable en algunos cuerpos, sino que más bien puede afectar una u otra configuración, según las influencias externas a que los átomos se hallen sometidos. Abundando en estas ideas Stephan Meyer, estudiando las propiedades magnéticas y el color de algunos compuestos de los elementos denominados de las tierras raras o escasas, ha sugerido el concepto de *electronisomería* (1), denominando isómeros electrónicos o *electronisómeros* a aquellos átomos cuyas zonas periféricas, poseyendo el mismo número de electrones, difieren sin embargo en la distribución de éstos en sus últimas órbitas o en la diferente orientación de las mismas.

Realmente, si generalizamos hasta este punto ideas hasta hoy reservadas para la constitución molecular de los cuerpos compuestos, la denominación que mejor cuadraría a átomos como los de cromo, manganeso y otros cuya configuración puede fácilmente cambiar, sería la de *tautómeros* periféricos o *tautómeros electrónicos*.

Continuando con el examen de los elementos de este grupo

---

(1) *Phys. Zeits.*, **26**, p. 51, 1925.

de transición, llegamos a aquellos que se cobijan bajo los nombres de Hierro, Cobalto y Níquel, en los cuales hallamos que es notorio el predominio de su afinidad primaria positiva, definidora de su carácter eminentemente metálico, con valor decreciente del hierro al níquel; pues si bien todos ellos originan iones divalentes, son más estables los trivalentes en el hierro, sigue siendo más estable la trivalencia, aunque sólo en los iones complejos, en el cobalto, y sólo predomina francamente la estabilidad divalente en el níquel.

No parece aquí, sino que existe una acentuada demanda de estos cuerpos para ser colocados en aquellas columnas de la ordenación, donde se alberguen elementos capaces de originar cationes metálicos cuya valencia varíe entre tres y dos; es difícil, en efecto, cerrar los ojos ante esta tendencia que tan manifiesta presenta la triada en cuestión, acentuada si cabe por la tetravalencia dominante del manganeso antes apuntada; y es extraño que a pesar de esto, se les acostumbre a situar en todas las representaciones periódicas, fronteras de aquellos otros cuerpos que por su escasa afinidad primaria negativa hallan su más vigorosa actuación y definen su personalidad, formando aniones de valencia mínima.

Teniendo en cuenta solamente lo anterior, parece que es obligado en este punto, introducir una pequeña variante en la ordenación de los elementos que antes se había comenzado, y ésta es la siguiente:

Al llegar al encasillado correspondiente al elemento 23-51 (vanadio) debe realmente interrumpirse la tercera zona de elementos que comienza con el número atómico 18, aunque puedan figurar aún en ella emplazamientos para los elementos 24-52 y 25-55, no con carácter de absoluta propiedad, sino como sitios que corresponden sólo a determinadas posibilidades de sus átomos, que según se ha visto pueden ser considerados, si es permitida la expresión, como francamente *polítomos*.

Y arrancando en dicho punto iniciar una sucesión de elementos que, cayendo como en cascada hacia la izquierda, venga a empalmar con la cuarta zona, que comenzará en los elementos de número atómico 63 y que correrá paralela a las primeras.

Esto se comprenderá más fácilmente teniendo a la vista la ordenación de la página siguiente (1).

El efecto de conjunto producido por esta distribución, es como si la línea o fila de elementos que se inicia con el Argo, sufriera una interrupción al llegar al Vanadio; como si el Cromo y Manganeso, que por cierto poseen una sola clase de átomos, iniciaran una zona aparte que ocupa sólo dos lugares en el centro de la zona anterior y luego en una brusca inflexión retrocediera oblicuamente hacia la izquierda hasta encontrar al Cobre, continuando después ya, en la nueva zona de horizontalidad paralela a la primera, que se comienza con dicho elemento y se termina con el Bromo; bien sea esto, o que la inflexión hacia la izquierda comience desde el propio Cromo, aceptando como mejor colocación del Manganeso lo que corresponde a su ión divalente, lo cierto es, que el enlace entre la 3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup> zonas de la ordenación impuesta simultáneamente por los números y masas atómicas y las analogías químicas, parece realizarse esquemáticamente en forma parecida a la de la letra **Z**.

15. Aparte de las razones de orden puramente químico que antes se hubieron de aducir en pro de esta diferente colocación dada a los elementos de transición, hay además un conjunto de consideraciones, no exentas de relación entre sí y con las anteriores, que aparentemente al menos, parecen contribuir a justificar la necesidad de cambiar, bien en la forma que queda expuesta, bien en otra, el rumbo generalmente seguido en la colocación de los elementos cromo, manganeso, hierro, cobalto y níquel;

---

(1) Los números que en dicha tabla y en las que siguen, figuren entre paréntesis, significan colocaciones posibles, pero menos probables que las que están sin él.

(1)	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>(24)</b>	<b>(25)</b>
(2)	A	K	Ca	Se	Ti	V	Cr	Mn
(3)	36 · · ·	39	40 · · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·
	· · ·	41	· · ·	45	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·
	40 · · ·	· · ·	44	· · ·	48	· · ·	51	(52) · · (55)

3.<sup>a</sup>

(1)	<b>(25)</b>	<b>24</b>	<b>25</b>
(2)	Mn	Cr	Mn
(3)	· · (55)	52 · ·	· · 55
	· · ·	· · ·	· · ·

(1)	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>26</b>
(2)	Cu	Ni	Co	Fe
(3)	· · ·	· · ·	· · ·	54
	· · ·	58	· · ·	56
	· · ·	60	59	· · ·
	63			
	65			

(1)		<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>			
(2)		Cu	Zn		Ga	Ge	As	Se	Se	Br	
(3)		63	64 · · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	
		65	66 · · ·	· · ·	69	70	· · ·	74	· · ·	· · ·	
			68 · · ·	· · ·	71	72	· · ·	75	76	77	79
			70 · · ·	· · ·	· · ·	74	· · ·	· · ·	78	· · ·	81
								80	· · ·	· · ·	
								82	· · ·	· · ·	

4.<sup>a</sup>

- (1) Números atómicos.
- (2) Símbolos.
- (3) Masas atómicas.

la importancia de algunas de estas consideraciones obliga a prestarles, siquiera sea ligera, alguna atención en este lugar.

En primer término, se debe recordar que en estos elementos de transición, el aumento sucesivo de su carga nuclear correspondiente, no se verifica como en los que les preceden, en sentido que podría llamarse centrífugo, o sea en la órbita periférica más externa del átomo, que es reemplazada por otra de mayor radio cuando llega su saturación; sino que, por el contrario, crece en sentido opuesto, según ha hecho notar Cabrera al dar la distribución electrónica de los iones (pág. 53); afirmando, que el subpiso  $M_V$  debe saturarse antes que el  $M_{IV}$ , como consecuencia del hecho experimental de que los momentos magnéticos de los iones a que estos elementos dan lugar, si crecen hasta el manganeso, decrecen a partir de este elemento de un modo regular; de acuerdo con este modo de ver, en contraposición con el que una simple razón de analogía, llevó a Swinne a dar la distribución que señala en su cuadro, hace pensar que la distribución electrónica en los *átomos neutros* de los citados elementos que mejor explica sus propiedades químicas, debe ser la que sigue o una muy semejante, en la que se ve que con el cromo empieza la saturación del piso más interior que quedaba por completar.

Por otra parte, Catalán en su estudio de los espectros ópticos de los citados elementos, que como dice Sommerfeld (1) significa el impulso capital dado a la interpretación de los hasta él indescifrables espectros complicados, encuentra (2), de un lado, que los sistemas complejos de líneas a que él llamó *multipletes* poseen en los espectros del átomo neutro un grado de multiplicidad máxima creciente (dobletes, tripletes, etc.) en la fila del potasio y a partir de este cuerpo, hasta llegar al manga-

---

(1) *Three lectures on Atomic physics*, pág 31, Londón 1926.

(2) *Anales Soc. Esp. F. y Q.* 1925, págs, 403-408.

Elementos.	SUBPISOS					
	$M_I$	$M_{II}$	$M_{III}$	$M_{IV}$	$M_V$	$N_I$ $N_{II}$
	Número de electrones.					
Ti	2	2	4	0	2	2
V	2	2	4	0	3	2
Cr	2	2	4	1	3	2
Mn	2	2	4	2	3	2
Fe	2	2	4	2	4	2
Co	2	2	4	3	4	2
Ni	2	2	4	2	6	2
Cu	2	2	4	4	6	1

neso, que posee octetes; decreciendo después unidad por unidad en los cuerpos, hierro, cobalto y níquel, y sucediendo igual en los espectros del átomo ionizado; de otro lado, los valores numéricos de los niveles, cuyas diferencias dan las frecuencias de las líneas que forman cada multiplete y que en los llamados por Sommerfeld *regulares* guardan un orden de magnitud inverso al de los *números cuánticos internos*  $j$ , que les corresponden, se presentan de este modo en todos los cuerpos que constituyen la fila del potasio hasta llegar al cromo inclusive; ya en el manganeso aparecen algunos términos *llamados irregulares*, porque en ellos, al contrario de lo anterior, el orden de magnitud de los niveles es el mismo que el de sus cuantos internos; y en los cuerpos restantes Fe, Co y Ni se da el caso de que *todos* sus términos son irregulares por presentar la mencionada inversión.

16. Continuando la sistematización intentada, con el mismo criterio hasta aquí seguido, se llega inmediatamente a un conjunto comparable al que últimamente ha sido descrito, en el que interviene la segunda triada de cuerpos simples que figura

(1)	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	
(2)	Kr Kr	Rb	Sr	Yt	Zr	Nb	(Mo)	
(3)	78	.	.	.	.	.	.	.
	80	.	.	.	.	.	.	.
	82 83	.	85	86	.	89	90	.
	84	.	87	88	.	.	92	.
	86	.	.	.	.	94	.	95
					96	.	.	.

5.<sup>a</sup>

(1)	<b>42</b>	<b>43</b>
(2)	Mo	Ms
(3)	96	(?)

(1)	<b>47</b>	<b>46</b>	<b>45</b>	<b>44</b>
(2)	Ag	Pd	Rh	Ru
(3)	.	.	101	100
	.	.	103	.
	107	106	.	.
	109	108	.	106

(1)	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>
(2)	Ag	Cd Cd	In	Sn Sn	Sb	Te	I
(3)	107	.	.	.	.	.	.
	109	110 111	.	.	.	.	.
	.	112 113	.	115 116 117	.	.	.
	.	114	.	.	118 119	.	121
	.	116	.	.	120 121	.	123
					122	.	.
				124	.	.	
						126	.
						128	.
						130	.

6.<sup>a</sup>

- (1) Números atómicos.
- (2) Símbolos.
- (3) Masas atómicas.

en las antiguas clasificaciones, y cuya nueva colocación, si no hay posibilidad de afirmarla en tantas razones teóricas como la anterior por falta aún de estudios semejantes a los que para la primera abundan, no faltan las razones de carácter puramente químico parecidas a las que allí fueron expuestas. Este conjunto que es el que se ve en la página anterior, guarda con el precedente una analogía, como se ve, notable.

17. Viene inmediatamente a la ordenación, la zona de elementos que comienza con los llamados isótopos del Xenon y donde a los pocos pasos se viene a dar con los famosos de las tierras raras, en los que de nuevo aparece la formación de pisos interiores en el átomo después de formados y saturados de electrones otros superficiales.

Faltan en estos elementos muchos datos experimentales concernientes a su análisis mediante los rayos positivos, y aunque por esta causa hayan de usarse frecuentemente las masas atómicas previstas por Russell, no deja de ofrecer dificultad esta circunstancia, por cuanto no es posible desposeer a tales valores numéricos del carácter de provisionalidad e incertidumbre que sin duda tienen.

De otra parte, mientras la bibliografía es suficientemente explícita en lo que toca al estudio químico de algunos de los citados elementos, singularmente en la familia del Cerio, suministra un conocimiento notoriamente incompleto de otros, principalmente en la familia del Erblio, y de ello nace no escasa dificultad para su debida ordenación desde el punto de vista de los hechos experimentales; porque es sin duda evidente que estos elementos, como todos los vistos antes en que hay formación de pisos electrónicos interiores, parecen prestarse mejor que otros, a posibles cambios de distribución en sus electrones superficiales, al menos en aquellos que definen su electrovalencia y a multiplicar por tanto sus posibles emplazamientos.



Sabido es, que no obstante la trivalencia común a todos los elementos del grupo, suelen actuar como divalentes el Samario y el Europio; como tetravalentes, con bastante facilidad, el Cerio, y con menos frecuencia el Praseodimio y el Terbio, habiendo supuesto finalmente Prandlt (1), que tanto se ha ocupado en el estudio de la química de estos elementos, que el óxido  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  es de carácter salino y justifica con la estructura correspondiente a un praseodimato de praseodimio, la pentalvalencia del citado elemento en dicho óxido y su posible homología con el Vanadio.

Nada se sabe aún de la química del elemento núm. 61, cuyo descubrimiento se halla aún discutido y disputado por varios autores, y hasta negado por Prandlt y otros; pero de los trabajos de Rolla y Fernandes parece deducirse, en efecto, su existencia y su gran analogía con el Samario, puesto que junto con este parece encontrarse en el fraccionamiento por demás prolijo de las tierras didímicas.

Teniendo en cuenta todo esto, considerando además los más precisos estudios que acerca del paramagnetismo de estas sales ha realizado Cabrera (2) y según los cuales aparecen bien manifiestos los dos períodos, enteramente análogos al de la familia del Hierro, constituídos por Lantano, Cerio, Praseodimio, Neodimio, 61 y Samario, el primero; Europio, Gadolinio, Terbio, Dysprosio, Holmio, Erblio, Tulio, Iterbio y Lutecio el segundo; advirtiendo la casi coincidencia entre los grupos de elementos que los dos citados períodos señalan, con los que desde un punto de vista puramente químico estableciera hace años G. Urbain (3) al estudiar la solubilidad en la disolución saturada de sulfato potásico de los oxalatos insolubles, que permite estable-

---

(1) *Zeits. J. Anorg. Chem.* p. 289, 1924.

(2) *Rev. Real Ac. Ciencias*, p. 243. Dbre. 1926.

(3) *J. W. Mellor-Inorganic and Theoretical Chem.* V., p. 495, 1924.

cer las cuatro familias del Cerio, del Terbio, del Erblio y del Iterbio; atendiendo, finalmente, a razones de simetría imposibles de eludir ante la inseguridad de determinados datos y a las imposiciones numéricas, que el criterio admitido en los grupos anteriores de la ordenación, establece; parece, que la distribución más racional de elementos en esta zona difícil, de la ordenación, no deberá diferir mucho de la que en forma aproximada de una triple Z, se establece en las tablas de las páginas 69 y 70.

En dichas tablas, que deberán entenderse superpuestas, a cuyo fin, se repite en cada una, la última fila de alojamientos de la anterior, se observa que al llegar al elemento Praseodimio, bien encajado como tetravalente junto al Cerio, o como pentavalente según los citados trabajos de Prandlt, hay que retroceder hacia la izquierda para colocar al Neodimio como trivalente franco, cayendo sin violencia el Samario en los divalentes y quedando el supuesto Illinio (61) entre ambos, en una situación que hace presumir la posibilidad de que posea algún compuesto en que actúe como divalente también, cuya confirmación habrá que confiar al porvenir; sigue después en otra zona horizontal (la marcada con la indicación 7.<sup>a</sup>), la familia del Terbio perfectamente situada, Europio di, Gadolinio tri, y Terbio tetravalentes, para continuar con la familia del Dysproso con una gran incertidumbre por lo que a éste y al Tulio corresponde, pero con un buen emplazamiento para el Holmio y para el más importante del grupo, o sea el Erblio. Igualmente bien situados aparecen los dos elementos Iterbio y Lutecio, que forman la familia del primero, para empalmar perfectamente con los elementos ya fuera de las tierras raras, Hafnio y los que le siguen, donde se repite dentro de la más perfecta homología la distribución asignada a las zonas 5.<sup>a</sup> y 6.<sup>a</sup> que figuran en la página 65.

A partir del emplazamiento del Talio, comienzan a ser inclui-

(1)	54		55		56		57		58		59		(59)		
(2)	Xe	Xe		Cs	Ba			La	Ce	Pr			(Pr)		
(3)	124	.													
	126	.	.	.											
	128	129	.	.	.	.									
	130	131	.	133	.	.	.	.	.	.	.	.	(141)		
	132	.	.	.	136	.	.	139	140	141	.	.			
	134	.	.	.	138	.	.	.	142	.	.	.			
	136	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.			

7.<sup>a</sup>

(1)	62	61	60	(59)
(2)	Sa	Ill	Nd	(Pr)
(3)			142	(141)
		.	144	.
		.	147	146
	150	.	.	
	152	.	.	

(1)	63		64		65		66	
(2)		Eu	Gd			Tb	Dy	
(3)		.						
		151	.					
		153	.	.	.	.	.	
		.	156	.	.	159	.	
		.	158		.	.	162	
					.	.	164	

7.<sup>a</sup><sub>1</sub>

- (1) Números atómicos.
- (2) Símbolos.
- (3) Masas atómicas.

63		64		65		66	
	Eu	Gd			Tb	Dy	
	151						
	153	·	·	·	·	·	
	·	156	·	·	159	·	
	·	158		·	·	162	
	·	·	·	·	·	164	

69	68	67	(66)
Tu	Er	Ho	Dy
·	·	·	162
·	166	165	164
169	168	167	·
171	170	·	·

70	71	72	73		(74)	
Yb	Lu	Hf		Ta	(W)	
172	·	·				
174	175	·				
176	177	178	·	·	181	
		180	·	·	183	(184)
		182	·	·	·	

7<sup>A</sup><sub>2</sub>

74		75	
W			Re
184	·	·	(?)
·	·	·	·

79	78	77	76
Au	Pt	Ir	Os
·	·	·	190
195	194	193	·
197	196	·	·

dos en sus respectivos sitios las masas atómicas, correspondientes a los elementos radiactivos conocidos, si bien se ha prescindido de los nombres particulares de cada una, para evitar mayor complicación, resultando colocadas perfectamente dentro del conjunto total de la ordenación, según puede verse en la página siguiente.

18. Observando atentamente el conjunto de la tabla íntegra formada con todas las masas atómicas seguras y probables hoy conocidas, en la forma que se detalla anteriormente, se observa en primer término, la existencia de nueve zonas horizontales, períodos o grupos de elementos formados por ocho grandes alojamientos las dos primeras, y por seis, como mínimo, las restantes; estos alojamientos corresponden a números atómicos distintos, y cada uno se halla subdividido por una línea vertical en dos series de compartimentos menores, donde se alojan masas atómicas pares o impares.

El 3.º y 4.º de estos períodos, así como también los 5.º y 6.º, se hallan enlazados entre sí por grupos de elementos que se dirigen en línea oblicua desde el final del 3.º al principio del 4.º, y desde el final del 5.º al comienzo del 6.º, respectivamente.

Como los períodos 3.º y 5.º no llegan al final marcado por los 1.º y 2.º; ni los 4.º y 6.º parten del mismo principio que los susodichos 1.º y 2.º, resulta que las dos parejas, 3.º y 4.º, 5.º y 6.º, parecen constituir dos únicos períodos mayores que los 1.º y 2.º, poseyendo los mismos extremos que estos dos, pero con una inflexión en Z en su centro.

El 7.º y el 8.º períodos, mucho más distanciados entre sí que las dos parejas antes aludidas, resultan igualmente enlazados por un grupo de elementos que, en vez de mostrar una inflexión en Z, presenta tres consecutivas de esta clase. El 9.º período queda aislado e incompleto, como si esperara el descubrimiento de los Neptúnidos (homólogos de la tercer triada)

(1)	<b>79</b>	<b>78</b>	<b>77</b>	<b>76</b>
(2)	Au	Pt	Ir	Os
(3)	.	.	.	190
	195	194	193	.
	197	196	.	.

(1)	<b>79</b>	<b>80</b>		<b>81</b>	<b>82</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	
(2)	Au	Hg	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	(?)	
(3)	195	.	.	.	.	.	.	.	
	197	198	199	.	.	.	.	.	
	.	200	201	.	203	.	.	.	
	.	202	.	204	205	206	207	209	210
	.	204	.	.	207	208	.	210	211
	.	.	.	208	.	210	211	212	.
					212	.	214	.	
					214	.	.	.	
							216	.	
							218	.	

(1)	<b>86</b>	<b>87</b>	<b>88</b>	<b>89</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>92</b>
(2)	Rd		Ra	Ac	Th	Pa	U
(3)	218	.	.	222	.	.	226
	220	.	.	224	.	226	227
	222	.	.	226	.	228	228
		.	.	228	.	230	231
		.	.	.	232	.	234
					234	.	.
						.	238

- (1) Números atómicos.
- (2) Símbolos.
- (3) Masas atómicas.

que prevee Golschmidt de Oslo (1), o como si añorara la existencia de elementos que han desaparecido ya, por no ser favorables las actuales condiciones del universo para su estabilidad.

Si nos fijamos en los elementos que sirven de unión entre los diversos períodos, constituyendo los enlaces en Z antes mencionados, es de notar una notable particularidad.

Todos ellos, sean de las triadas de Hierro, del Rutenio, del Osmio o del grupo de las tierras raras, se diferencian notablemente de los demás, que en los períodos horizontales figuran, porque sus alojamientos de número atómico, poseen *una sola columna vertical* donde hay masas atómicas *pares* o *impares*, *nunca* de ambas a la vez, como sucede frecuentemente en los otros; aun cuando se de el caso de que existan columnas contiguas, cada una posee número atómico diferente, y por lo tanto, las diferencias que en los períodos horizontales corresponden por lo general a isótopos de los antiguos elementos, en estos enlaces en forma de Z, corresponden ya a cuerpos simples diferentes; dicho se está, que las analogías entre ellos serán mayores que en los demás casos, como puede comprobarse en las dificultades de separación que existen entre algunos elementos de las triadas, níquel y cobalto por ejemplo, mina de platino y, sobre todo, entre los de las tierras raras. Es también digno de notar, el hecho de que mientras en los aludidos períodos de la ordenación, las masas atómicas van siguiendo sin grandes desvíos una misma horizontal, en estas regiones de enlace, o de transición entre aquéllos, las masas atómicas aparecen escalonadas de una a otra columna, como marcando una tendencia más o menos acentuada a la verticalidad; en cuya inclinación será preciso ver también, origen de analogías para masas atómicas muy próximas, ya que la verticalidad perfecta se da en aquellas masas atómicas contiguas, que son prácticamente inseparables.

---

(1) *Videnskaps-Akademi*, 1925.

Resulta por consiguiente, como una primera consecuencia, de todo lo expuesto, que los *antiguos elementos* aparecen distribuídos según una armazón, cuyo conjunto ofrece regularidad y simetría superiores a las que presentan otras representaciones; resulta, asimismo, que en los problemas de las triadas y de las tierras raras, se vislumbra un racional encauzamiento desde el punto en que la distribución regular de sus elementos parece obedecer a unas mismas o semejantes normas.

Cuanto a los verdaderos elementos, se observa lo siguiente: Cu, Ag y Au dejan de perturbar la columna de alcalinos; en algunas regiones existen, además, átomos exactamente en columna vertical y en períodos distintos; en otras regiones, ciertos elementos no poseen homólogos en los períodos anterior o posterior.

Entre los primeros existe perfecta periodicidad; así se ve por ejemplo, entre los elementos del 1.º y 2.º períodos, que a una diferencia constante de 8 en el valor del número atómico, corresponde una exacta de 16 en la masa atómica, lo cual sigue verificándose en sus comienzos, entre los períodos 2.º y 3.º.

Es decir, que en esta región, toda diferencia de 16 en masa atómica, si lleva consigo una de 8 en la carga nuclear, determina pares de elementos de propiedades análogas.

Aston (1) señala ya un número de isótopos cuya diferencia de masa es 44, y de número atómico 18, que corresponden a pares de elementos semejantes; éstos son:

Mg 24	Mg 26	Al 27	Si 28	Si 30	P 31	S 32	Cl 35
Zn 68	Zn 70	Ga 71	Ge 72	Ge 74	As 75	Se 76	Br 79
Cl 37	Ar 36	Ar 40	Ca 44	Sc 45	Cu 63-65		
Br 81	Kr 80	Kr 84	Sr 88	Y 89	Ag 107-109		

como es fácil comprobar, los elementos de la lista anterior, no

---

(1) *Phil. Mag.*, p. 1900, 1924.



son ni más ni menos, que elementos homólogos de los períodos 2 y 4, 3 y 5, 4 y 6, de nuestra ordenación, pero con ésta a la vista, se ve que es perfectamente ampliable con los siguientes:

Ti 48	V 51	Cr 52	Fe 54-56	Co 59	Zn 66-68-70
Zr 92	Nb 95	Mo 96	Ru 98-100	Rh 103	Cd 110-112-114
Ga 71-72-74	Se 82	Kr 80-82-84-86	Zr 96	Co 59	
In 115-116-118	Te 126	Xe 124-126-128-130	Ce 140	Rh 103	

Ge - 72 - 74

Sn - 116-118

Siguiendo este examen, se encontrarían diferencias de 48, 96 y otras: es decir,  $4 \times 4$ ,  $4 \times 11$ ,  $4 \times 12$ ,  $4 \times 24$ , etc.; no es este tampoco el momento adecuado para agotar el tema desde este punto de vista, que seguramente requiere ulterior y más detenida atención.

Las diferencias encontradas son, sin embargo, suficientes para justificar la afirmación, de que, un detenido examen del asunto, hará renacer seguramente el olvidado y abandonado espíritu del viejo enunciado de Mendelejev y Meyer; el cual, y sus posteriores modificaciones, habrán, sin duda, de ser pronto reemplazados por otro más completo y de mayor generalidad, que abarcándolos a todos, exprese que:

*«Las propiedades de los elementos químicos, parecen ser a un mismo tiempo, función periódica de las masas de sus átomos y de la carga eléctrica de sus núcleos, o sea de sus masas atómicas y de sus números atómicos.»*

## VI

18. Otro punto de vista, que aunque necesite un más amplio desenvolvimiento ulterior, no debe por lo menos dejarse de iniciar aquí, es el que se refiere al modo de adaptarse la especial ordenación de masas atómicas que ha sido esbozada en los capítulos anteriores, a las ideas hoy dominantes en lo tocante a la constitución del núcleo atómico.

Sabido es, que considerándose actualmente aquella vieja y un tiempo herética idea de Prout, como una verdad casi inconcusa, una multitud de hechos—entre los que figuran con mayor valor argumental las portentosas disgregaciones atómicas conseguidas en estos últimos tiempos por Rutherford, mediante sus bombardeos artificiales con rayos  $\alpha$ —llevan forzosamente a la conclusión de que en los núcleos atómicos, no hay fundamentalmente otra cosa, que electrones y esos cuantos elementales de electricidad positiva que llamamos núcleos de hidrógeno o protones, con una especial y aún no bien conjeturable agrupación.

Los fenómenos naturales o artificiales de desintegración atómica, ponen efectivamente de manifiesto, que los últimos detritus de aquélla son, tan sólo, rayos  $\beta$ , rayos H (denominando así a los protones) y rayos  $\alpha$ , que por ser núcleos de Helio equivalen realmente a un conjunto de los anteriores.

Si se admite corrientemente en la actualidad, que toda masa atómica es de la forma  $4n + p$ , donde  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ , representa otros tantos núcleos de Helio, y  $p = 0, 1, 2, 3$ , núcleos de hidrógeno; y que, por consiguiente, todos los elementos conoci-

dos corresponden a una de las cuatro series a que los valores de  $p$  dan lugar, remozándose así las antiguas ideas de Dumas; si se admite también, como suele hacerse, con Meitner Lise (1), que en todo núcleo atómico hay que considerar, electrones libres  $\beta$ , partículas  $\alpha$ , y partículas  $\alpha'$ , que no son sino núcleos de Helio con sus cargas eléctricas neutralizadas por dos electrones captados por ellas, y que toda transformación radiactiva puede responder entre otros modelos a series  $\alpha - \alpha - \alpha$ ,  $\alpha' - \beta - \beta$  o  $\beta - \alpha' - \beta$ ; si se tiene en cuenta que hoy se admite la posible existencia de cuatro series de desintegración radiactiva, cuyos miembros poseen precisamente masas atómicas  $4n$  (Torio);  $4n + 1$  (hipotética cuyo extremo acaso sea el Bismuto 209 o el Talio 205);  $4n + 2$  (Uranio) y  $4n + 3$  (Actinio); si se acepta, finalmente, la hipótesis también cada día más extendida, de que entre los elementos conocidos existen relaciones genéticas tales, que permiten aplicar y extender a ellos las leyes porque se rigen las transformaciones radiactivas y hacerles entrar en alguna de las series de desintegración antes mencionadas (la emisión de rayos  $\beta$  por el Potasio y Rubidio presta apoyo a la idea); y si se observa la disposición escalonada en que aparecen las masas atómicas al ordenarlas en la forma ininterrumpida que (prescindiendo de períodos y fraccionamientos de *todo orden*) resulta, según lo expuesto en el párrafo (14) de la pág. 54, se advierte en principio lo siguiente:

En la sucesión indicada, están mezclados e interpuestos los números que corresponden a cada una de las series mencionadas; será fácil seleccionar los de cada una, mediante una señal especial, sin que pierdan sus respectivas posiciones relativas; y será posible entonces, interpretar ciertas particularidades observadas y señalar de paso la posible causa de ausencia de determinadas masas atómicas, como atribuible a inestabilidad

(1) *Zeit. f. Phys.* p. 146, 1921.

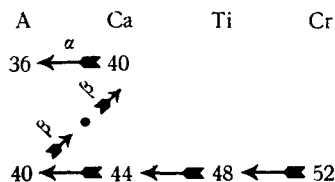
o existencia breve de las especies correspondientes en el proceso evolutivo progresivo o regresivo del conjunto.

No se puede—por circunstancias de ocasión, tiempo ni espacio, detallar ampliamente cuanto en el párrafo anterior hay condensado, acaso con exceso—ni lo merece quizás una cuestión en la que por tanto entra la fantasía: limitarémonos, pues, a aclarar el asunto, presentando sólo un fragmento de una de las series, la  $4n$ , por modo de ejemplo.

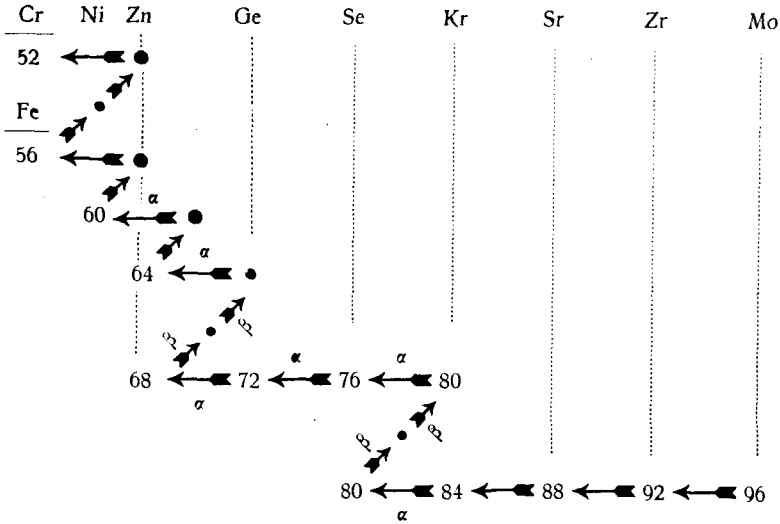
Siguiendo el orden creciente de las masas atómicas, aunque éste sea el inverso en que suelen expresarse las relaciones genéticas, ya que sólo nos son conocidas algunas de desintegración, resultará que la sucesión de números

Be            c            o            Ne            Mg            Si            S            A            Ca  
 4 ←• ←• ←• 12 ←• 16 ←• 20 ←• 24 ←• 28 ←• 32 ←• 36 ←• 40

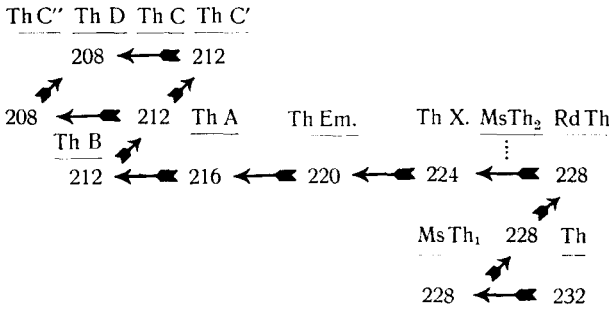
representa átomos relacionados al parecer, mediante transformaciones  $\alpha$  sucesivas; al llegar al Ca recordaremos que se perdía la fila horizontal (pág. 57) para empezar otra más debajo: es precisamente lo que corresponde a una transformación  $\alpha\beta$  seguida de otras  $\alpha - \alpha$ , como se ve fácilmente a continuación:



al llegar al Cromo, recordaremos que el Hierro se colocaba debajo de él, y que allí empezaba, con los elementos de transición, una pérdida creciente de horizontalidad que acababa en el período siguiente: no parece sino que aquí hay transformaciones  $\alpha' - \beta - \beta$  o  $\beta - \alpha' - \beta$ , seguidas de otras  $\alpha - \alpha$  al recobrase la línea, como puede verse en lo que sigue:



al llegar al nuevo grupo de transición, otra vez aparece una serie de transformaciones interpretables como  $\beta - \sigma' - \beta$ , que continúan precisamente igual al llegar a las tierras raras, a la última triada, etc., y vienen a empalmar al final sin la menor violencia con la conocida serie de desintegración del Torio:



De una manera parecida se desenvuelven las restantes series de elementos, abarcando justamente entre todas el conjunto total de los existentes, y dándose siempre el caso, de que los elementos que se denominan isótopos quedan en una

misma columna por efecto de transformaciones  $\alpha' - \beta - \beta$ ; que sólo en los grupos de las triadas y en las tierras raras aparecen por excepción alguna vez en columnas, elementos muy parecidos que no llegan a ser lo que hoy se conoce con la citada denominación y que sólo en los mencionados casos hay que admitir las transformaciones  $\beta - \alpha' - \beta$ , realmente no observados aún, dándose la circunstancia común de no existir nunca aquellos elementos, que para poderlo expresar gráficamente, les correspondería estar situados en el filo de los pequeños escalones, según puede advertirse en el grupo encabezado con el elemento Cromo que antes se escribió.

\* \* \*

19. Realidad o fantasía, lo que parece cierto es, que la colocación serial de las masas atómicas, tal y como ha sido concebida y descrita en las páginas que anteceden, representa una orientación, que interpreta perfectamente y con notorias ventajas sobre otras ordenaciones, los hechos conocidos; y acaso se presta también mejor que otras, supuestos los debidos perfeccionamientos, a acoger aquellos hechos nuevos que ya se vislumbran en el porvenir.

Por muy incompleto que lo anterior resulte, en el ligero esbozo que queda expuesto, hay suficiente fundamento para poder contestar al dilema que nos propusimos: no es un mito o una obsesión el pretender hallar una mayor regularidad que la hoy conseguida, en la ordenación periódica de los elementos químicos.

Cuando podamos conocer con mayor precisión que hoy, la masa y la constitución atómicas de todos los elementos existentes; cuando podamos desglosar con seguridad de la serie total de elementos las cuatro series independientes que hoy tan sólo se presumen y que al parecer la integran; cuando

tengamos pruebas más firmes acerca de las relaciones genéticas existentes entre los elementos de cada una de estas series, la ordenación sistemática y racional de todos ellos quedará hecha sin dificultad.

Como era de presumir, *la evolución del sistema periódico* no puede darse por terminada.

## VII

**20.** No ha sido mi pretensión en este trabajo, resolver un problema que tantos hombres ilustres hallaron poco propicio; como era lógico, los descubrimientos de las últimas décadas, si tienen una acción demoledora sobre lo antiguo mal fundamentado, aportan en cambio nuevos y valiosos elementos constructivos que unir a algunos viejos sillares que perduran y que la Ciencia no desaprovecha jamás. Y esto, que es una verdad en todos los tiempos, lo es mucho más en los actuales, en que tenemos la suerte de asistir a la aparición vigorosa y pujante de una Ciencia nueva.

La química en el siglo XIX, después de enterrar para siempre los desvaríos de la vieja alquimia, encuentra en los trabajos que permiten asentar sobre bases experimentales, la teoría atómica, el instrumento con que penetrar en la constitución molecular y los cimientos sobre que edificar ese prodigioso cuerpo de doctrina, que mediante el análisis primero y con la síntesis después, conquista la naturaleza y teje esa inmensa red de descubrimientos que son justamente la admiración de sabios y profanos, y constituye el blasón más grande de orgullo y de gloria que puede ostentar la humanidad.

Mas cuando la química, alentada por sus crecientes triunfos, todavía se afana por escalar las escasas cumbres que a su pro-

greso aún se muestran inaccesibles, la física, lanzando por vías insospechadas la poderosa falange de sus más preclaras inteligencias, consigue herramientas de análisis de un poder jamás creído y perforando valiente en lo ignoto, corta el riquísimo filón de la constitución del átomo que, sabiamente seguido, bien pronto conduce a parajes desde donde se vislumbra un maravilloso y fantástico más allá.

¿Qué valen tantos y tantos descubrimientos, tantas y tantas conquistas, hasta ahora **realizados**, merced al arte de desunir unos átomos de otros para **agruparlos** de otro modo, junto a los que la imaginación más pobre **presiente** para el día en que la Ciencia que alborea, nos enseñe a deshacer **unos átomos** para con sus detritus crear otros diferentes o para **aprovechar** los inmensos tesoros de energía en aquéllos contenidos?

¿Cuántas formas nuevas de la materia comparables a nuestros ya viejos cuerpos simples, no se ven probables, y cómo se podrán variar a medida de las necesidades las propiedades de los cuerpos?

Pocas veces la exploración de la Naturaleza en sus diversos aspectos astronómico, geográfico, biológico o psicológico, ha conducido a horizontes más prodigiosos y sorprendentes.

Pocas veces la conquista de la verdad habrá aportado **simultáneamente un tan enorme caudal estético**, que el espíritu menos sensible no sabe distinguir ya, si es la emoción científica la que le conmueve ante la contemplación del presente o si es el ambiente de sublime poesía en que aparecen envueltos los modernos descubrimientos.

Señores Académicos:

Entusiasta amante de la belleza, en todas sus manifestaciones, tanto por lo menos como de la verdad; aficionado a la Ciencia quizás por la gran belleza que ofrece en sus variadísi-



mos aspectos, yo me siento deslumbrado ante el fulgor del momento científico en que vivimos.

Como el bracero que, trabajando en las tinieblas del túnel, abandona su herramienta al romper el último peñasco que lo separa del exterior, para gozar de la luz y del paisaje, así yo, obrero insignificante y oscuro de la química, quisiera abandonar un momento mis útiles habituales de trabajo para asomarme al mágico ventanal que la Ciencia ha abierto sobre el porvenir; y ante la grandeza y excelsitud del soberbio panorama, yo os confieso mi ambición de tener un puesto entre vosotros; quiero estar más próximo a los sabios artífices que nos han permitido vislumbrar tales maravillas, y quisiera también que vuestra magnanimidad fuera tan grande, que me permitiera golpear con la piqueta en los bordes del boquete abierto, no para ensancharlo ni en una fracción infinitesimal de milímetro, que ello sería vana pretensión para la ineptitud de mis brazos; sino sólo, para hacerme la ilusión de que con ello, adquiero el derecho a contemplar y a gozar más de cerca las sublimes bellezas con que premia a los que saben buscar sus secretos, la obra prodigiosa de la Creación.

---

DISCURSO

DEL ILMO. SR. D. BLAS CABRERA Y FELIPE

## SEÑORES ACADÉMICOS:



ESTAS fiestas en que recibimos a un nuevo miembro de la Corporación, ofrecen un doble aspecto, como todos los actos que aseguran la prolongación de la vida: por su anverso muestran alegría primaveral, mientras en el reverso se dibuja toda la melancolía del otoño. La incorporación del nuevo académico es savia joven que hará florecer el cuerpo viejo; la alegría que por ello nos embarga es justa. Pero también es el momento en que, por última vez, oficialmente, rememoramos a quien colaboró en las tareas de esta casa; es lógico que la tristeza de la despedida nuble aquella alegría.

Además, abramos nuestro pecho, y en él descubriremos junto al recuerdo del día en que ocupamos la tribuna del recipiendario, el eco de la voz del viejo amigo a quien necesariamente hemos de seguir.

Tal es, señores, el estado de espíritu de todos en solemnidades como la presente, pero aún hay quien siente con mayor intensidad la alegría, la tristeza o ambas simultáneamente, por razones de amistad y simpatía hacia el nuevo compañero, o el que dejó de serlo. Este es hoy mi caso.

En vuestro nombre, Sres. Académicos, abro los brazos a uno de mis amigos más entrañables, con quien he departido casi diariamente durante más años de los que él y yo desearía-

mos; a quien he ido siempre unido en ideas y sentimientos, y cuyos altos valores, intelectual y moral, he podido apreciar y testifico con gran satisfacción ante cuantos puedan oirme.

Pero también es casi un mandato dar el último adiós a don José Muñoz del Castillo, personalidad que durante treinta años se ha destacado en el panorama de mi vida. Hombre de inteligencia excepcional, que habréis podido juzgar por el sentido elogio hecho por el Sr. del Campo, hubiese dado días de relevante gloria a la Ciencia española si el ambiente le hubiese encarrilado adecuadamente. En las páginas de su sucesor habrán llamado vuestra atención algunos atisbos de ideas que hoy tenemos por verdades probadas, aunque en su época fueron afirmaciones un tanto gratuitas, imposibles de merecer la conformidad de los hombres de ciencia, conocedores al detalle de cuanto la experiencia y la teoría habían producido. Estas intuiciones revelan una capacidad que circunstancias de índole diversa impidieron llegar a plena sazón; pues es imposible desconocer que la obra de cada hombre es un producto complejo de sus características individuales y del ambiente en que vive, con una influencia tanto más fuerte de este último, cuanto menos acentuada es su personalidad íntima. Felizmente, hay algunos casos en que ésta puede apartar por completo la acción del medio, mas ello es la virtud excepcional de los genios que arrastran a los pueblos y a la humanidad entera hacia el progreso, y la condición de genio no es exigible a nadie.

Seamos caritativos con el nuevo académico e impidamos nublar su justa alegría con el recuerdo de su viejo profesor, para quien guardó siempre el respeto y el cariño que para sus amigos.

El gran amor por la ciencia, que es virtud característica de del Campo, ha sido recompensado con frutos importantes, generalmente ignorados, porque una modestia punible le ha llevado más de una vez a despreciar la gloria del triunfo. Mo-

destia punible he dicho, porque si ella es un mérito estimable en la generalidad de las personas, cuando se trata de quien puede laborar por el prestigio español, uniéndolo su nombre a conquistas de interés para la ciencia, no existe el derecho de ser virtuoso. El Sr. del Campo, Sres. Académicos, es reo de este delito en un caso que señalaré en seguida, y además tengo vehementes temores de que reincida en otro, del cual también voy a hablaros, con la vaga esperanza de moderar un tanto su virtud, porque con ello perjudica el buen nombre de la raza en los anales científicos.

Uno de los capítulos de la ciencia a que del Campo ha dedicado más atención, es la espectroscopia, y hoy puede vanagloriarse de que dos de los descubrimientos más importantes con que se ha enriquecido ésta durante los últimos años, se realizaron en su propio laboratorio. Era la época en que sólo se conocían series espectrales de los elementos alcalinos, los alcalinotérreos y algunos otros aislados. En los mismos cuerpos citados, otras muchas líneas permanecían sin posible ordenación, y eran numerosos los elementos para los cuales no había indicio de que el enjambre de rayas que emiten tolerase un conato de clasificación. Por esto, del Campo y el entonces discípulo suyo M. Catalán, se propusieron escrudiñar en busca de relaciones entre dichas rayas que permitieran hacer luz en la maraña espectral. Del Campo fijó su atención en las no clasificadas de los elementos de la segunda columna, y Catalán abordó el estudio de elementos, respecto de los cuales apenas si se conocía alguna serie. No tardó el éxito en coronar sus esfuerzos, poniendo ante sus miradas inteligentes dos regularidades de tipo nuevo: del Campo la halló primero en el espectro del calcio, y más tarde comprobó su existencia en los restantes elementos alcalino-térreos; Catalán encontró la suya en el manganeso, cromo y otros varios cuerpos, demostrando con ello la generalidad del fenómeno, que ha sido desde entonces objeto de su atención y de los des-

velos de los espectroscopistas más afamados del mundo entero. A modo de certificado de origen, la ciencia conoce dicho fenómeno con el nombre de *multiplete*, que Catalán le dió.

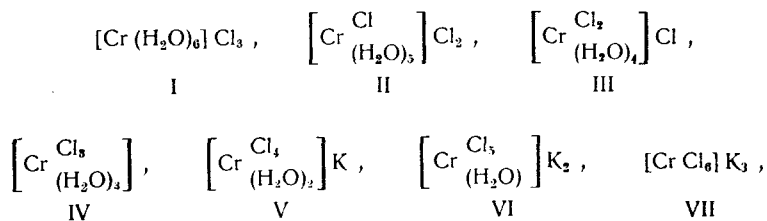
También son multipletes los descubiertos por del Campo, pero plantearon un problema teórico, del cual tuvo plena conciencia nuestro nuevo compañero. La emisión de cada línea espectral es el testimonio de que el átomo pasa de una configuración semiestable de alta energía a otra de energía inferior: podríamos compararlas con los sonidos que lanzaría una bala pesada cayendo por los peldaños de una escalera. La bala representaría al electrón; el sistema que forma con la tierra sería el átomo, y los peldaños recordarían las órbitas estacionarias en que aquél se puede mover. Del mismo modo que la bala al llegar al pie de la escalera no puede perder más energía, el electrón posee una última órbita que corresponde a la configuración del átomo en su estado natural. El máximo de energía que la bala nos puede suministrar cayendo, se obtiene cuando llega hasta el pie de la escalera desde su posición más elevada, y análogamente, la mayor frecuencia de una línea espectral, que es proporcional a la energía perdida por el átomo, corresponde al alojamiento del electrón en la órbita arriba señalada, cayendo del infinito. Pero hé aquí que los multipletes de del Campo suponen pérdidas de energía mayores que este límite, y por tanto, pusieron un interrogante en la teoría. La explicación la dieron Russell y Saunders, atribuyendo el hecho a que la emisión procede de la caída de dos electrones simultáneamente, en vez de considerar que sólo interviene uno en el fenómeno, como había bastado para todo lo conocido hasta entonces.

Lo único lamentable es, que del Campo no haya recogido los laureles a que pudo tener derecho. Y no es que él no diera ninguna noticia de su labor. Publicó una parte recogida por Sommerfeld en la cuarta edición de su obra magistral «*Atombau und Spektrallinien*», reservándose otra en espera de un estudio más

acabado; pero antes de darle cima, Russell y Saunders dieron a conocer lo que del Campo se había callado. Esto, que en otro cualquiera hubiese producido un profundo disgusto, no inmutó a nuestro amigo, en quien pudo más la alegría de ver comprobado su descubrimiento que el natural desconsuelo por la pérdida de la paternidad.

Ello prueba un alto temperamento moral ante el cual debemos descubrirnos; pero cumplido este deber, es necesario exigirle responsabilidad estrecha, porque sus triunfos no son suyos exclusivamente, sino que pertenecen a la raza toda, no tan sobrada de prestigio científico que pueda prescindir de los contados casos en que la suerte llama a nuestras puertas.

Insisto, Sres. Académicos, porque tengo temores fundados de que se repita el caso precedente. Además de la espectroscopia, ha absorbido el interés de nuestro nuevo compañero el estudio de los complejos crómicos, y también aquí tiene labor realizada de primera importancia. Todos sabéis que teóricamente existe la serie de hidrinas crómicas



y digo teóricamente, porque los únicos términos preparados hasta hoy son los tres primeros. Ahora bien; del Campo, a más de haber encontrado nuevos procedimientos para efectuarlo en mejores condiciones, ha logrado aislar los términos IV y VI, y halló ya un isómero negro del III. Parte de esta labor permanece aún inédita, y respecto del resto, pareció escoger el lugar de publicación más oportuno para evitar que fuera conocida

por los químicos que en el mundo científico dedican sus afanes a esta cuestión, una de las más atractivas desde el punto de vista teórico. Ya es extraño que no haya aparecido una memoria refiriendo los mismos descubrimientos, realizados por otro. El que no haya ocurrido así, depende de la magnitud de las dificultades que es necesario resolver hasta llegar a estas preparaciones, y realza el mérito de nuestro compañero.

Por eso insisto en las excitaciones que repetidamente dirijo a mi querido amigo. Ayudadme a lograr un cambio en su proceder, y yo os aseguro el éxito, pues su modestia se puede combatir con su sincero patriotismo.

El discurso con que el Sr. del Campo inicia su vida académica, es muestra brillante de profundo conocimiento de la actualidad fisico-química, que no es pura erudición, puesto que va aderezado con iniciativas estimables. Ya la elección de tema prueba una clara visión de la hora presente: *el sistema periódico de los elementos químicos*. La primera parte es historia documentada de su nacimiento y evolución, en la cual todos, y muy principalmente nuestra juventud estudiosa, podremos apreciar el camino, no siempre abierto, por el cual se ha llegado hasta la concepción actual, que nunca las grandes conquistas de la inteligencia han sido obra fácil y llana. La segunda contiene el primer intento de lo que yo me atrevo a calificar segunda aproximación al sistema de los elementos.

Hacia los últimos años del pasado siglo, cuando el señor del Campo y yo asistíamos a las aulas de nuestra Universidad, la obra de Mendelejeff no era estimada generalmente en más que una acertada disposición de los elementos para recordar, y preveer en su caso, las propiedades que los caracterizan. Pronto se cae en la cuenta de la injusticia de semejante actitud, pues las analogías y diferencias que refleja, evidencian cómo los átomos deben ser sistemas complejos organizados con elementos comunes por el juego de leyes generales. Es, pues, la denuncia



de una estructura en lo que se imaginó simple, probando el poco acierto con que se eligió el nombre.

Tan evidente y atractivo es este significado del sistema periódico, que el propio Mendelejeff se creyó en el caso de oponer un dique a la tentación sentida por los espíritus teóricos para abordar este problema. Y hoy, más que nunca, debemos aplaudir esta actitud, pues en su tiempo, ni mucho más tarde, se hallaba la ciencia en condiciones de hacer obra útil en estos dominios del saber. Cuanto se haya dicho antes de ahora, carecía de base, y no tiene otro valor que el de una especulación imaginativa, juicio del cual no se salvan las mismas concepciones próximas a la que proclamamos en el momento presente reflejo fiel de la realidad. La virtud más apreciable del hombre de ciencia, es saber contener su imaginación dentro de la esfera de las posibilidades racionales, que no es cerrar el paso a ideas que un día podrán adueñarse de la ciencia, sino catalogarlas acertadamente para lograr el rendimiento máximo de nuestra facultad de conocer.

Y así, lo que entonces hubiese sido inútil vagar de la mente, es hoy obra en sazón y urgente, porque conocemos ya, en el protón y el electrón, a los elementos constructivos de los átomos, y también contamos con indicios claros de cómo se hallan estructurados en ellos. La investigación de sistemas estables que puedan ser modelos de cada uno, es el problema que lógicamente se ofrece en primer plano para la actividad intelectual.

Mas, apenas iniciado el camino para llegar a la solución, se cayó en la cuenta de que la ciencia clásica no es instrumento adecuado para estos menesteres. Es necesario construir otra más poderosa; pero mientras llega, se van coordinando lógicamente los hechos, tanto para facilitar su labor futura, cuanto porque es el modo de averiguar las necesidades que ella debe llenar. Quiere esto decir que nuestros conocimientos actuales tienen un carácter estrictamente empírico.

La propia invención del sistema periódico y la explicación que hoy quiere dársele, marcan netamente la condición dicha. Existen ahora medios experimentales para atribuir a cada cuerpo simple un lugar en una serie indefinida, que empieza en el hidrógeno y termina en el urano. Este hecho, la repetición de las propiedades físico-químicas que denuncian un parentesco innegable entre ciertos términos de la serie, lleva a cortar la fila única en porciones, disponiéndolas luego paralelamente de modo que exista correspondencia entre los cuerpos homólogos. El resultado definitivo no es otro que el cuadro de Thomsen-Bohr (figura de la página 39).

Es más complejo, pero no menos empírico, el proceso seguido hasta atribuir valores a los números cuánticos  $n$ ,  $k$ ,  $j$  (véanse los cuadros de las páginas 48-51) y también el  $m$ , que permiten dar una mayor precisión y detalle a la estructura probable de cada átomo. Momentos hay en su curso que nada deben envidiar a la construcción científica de mayor rigor, pero ello no autoriza a considerarnos en posición de la teoría que buscamos; el empirismo inicial sigue reinando en nuestros conocimientos relativos al problema que nos ocupa. No es sólo en los primeros pasos de la teoría con los postulados de Bohr, sino durante su desarrollo. La estabilidad aparente de algunos grupos electrónicos, como aquellos que deben formar la superficie de los átomos de los gases nobles; el momento en que continúa la construcción de cada piso, después de la detención que sigue al grupo estable indicado, y el mismo detalle de la integración en cada piso y subpiso, en determinados lugares del sistema periódico (por ejemplo, en las familias del hierro, el paladio, el platino y las tierras raras), son todos ellos ejemplo de la incompreensión en que aún nos encontramos respecto de muchos aspectos esenciales de la teoría. Sin embargo, el estado de las cosas anuncia que pronto la luz de la razón iluminará el bello panorama del mundo del átomo, lo cual explica y justifica el

afán con que se busca a la hora presente la verdadera teoría.

Mientras llega, ha de continuarse la labor de coordinación provisional en la forma que hasta aquí, y con ello queda justificado el método que del Campo sigue en el intento de segunda aproximación al sistema completo de los elementos, como antes hube de calificar la segunda parte de su discurso.

Si grandes son los obstáculos con que la ciencia lucha para conocer la zona cortical o electrónica del átomo, el núcleo permanece casi hermético a la inteligencia. Tenemos noticia cierta de que existe y de que ofrece mayor variedad de organización que la zona electrónica. Por ello, a cada cuerpo simple corresponden, en la mayoría de los casos, átomos que difieren por su núcleo, en oposición a la supuesta homogeneidad de antes. Del Campo piensa, y lo creo acertado, que un sistema completo de los elementos necesita llevar el orden también a los que forman la pléyade, como dijo Fajans, en cada casilla del cuadro de Mendelejeff. Mi opinión la apoyo en el hecho de que, si es cierto que la mayoría de las propiedades fisico-químicas son indiscernibles en cada pléyade, denunciando igual configuración electrónica, también es innegable que en algunas existen diferencias notorias. En primer lugar, cuántas son *función directa de la masa; pero también hay indicios fehacientes de que en el propio espectro la identidad no es perfecta. Más bien debiera mirarse en todos los casos la imposibilidad de separar los átomos por sus propiedades, en relación con la perspicacia de los métodos experimentales inventados hasta hoy. Día llegará, probablemente, en que se distingan claramente configuraciones de electrones que en la fecha presente identificamos.*

Sin duda que el intento de una sistematización completa en este momento, corre el riesgo de caer en la arbitrariedad, pues la intuición desempeña el principal papel en la tarea. Pero cuan-

do se llega, como en el caso de del Campo, a encontrar regularidades notables, es necesario prestar atención a lo hecho. Me parece particularmente digno de aplauso el modo de abordar el problema, buscando bajo el sistema definido por el número atómico una ordenación, cuyo índice sea la masa. Y aplaudo porque veo cercano el día en que la base del sistema de los elementos vuelva a ser su masa, ya que es ella la verdadera característica de la constitución del núcleo y la carga, o número atómico, una función multiforme de dicha variable.

Pueden formularse al Sr. del Campo objeciones justificadas por las ideas actuales. Es lo normal en el desarrollo histórico de la ciencia. Recordemos que el sistema de Mendelejeff pareció en sus primeros días opuesto a no pocas verdades empíricas que tenían toda la garantía de la química de la época, como el peso atómico admitido para el In; y más frecuentemente se le criticó por reunir elementos cuya disparidad parecía y es notoria, como en el caso de los alcalinos y el Cu, Ag y Au, o de los dos subgrupos de cualquiera otra columna duplicada. La obra del Sr. del Campo, por su índole misma, ha de ofrecer mayor número de puntos vulnerables, o aparentemente de tal condición. El tiempo dirá hasta qué punto ha tenido acierto.

Pero el Sr. del Campo no puede ser simple espectador de las investigaciones que surjan alrededor de las ideas que él mismo ha sembrado en este su primer acto académico. Nobleza obliga, y si no encontramos disculpable el abandono de los filones por él descubiertos en otros capítulos de la ciencia, más exigentes hemos de ser en éste ofrendado por él mismo a la Academia en sus bodas con ella. No desconfiamos de que nuestro nuevo compañero sabrá honrar con ello la casa que desde hoy es suya.

---