

DISCURSO

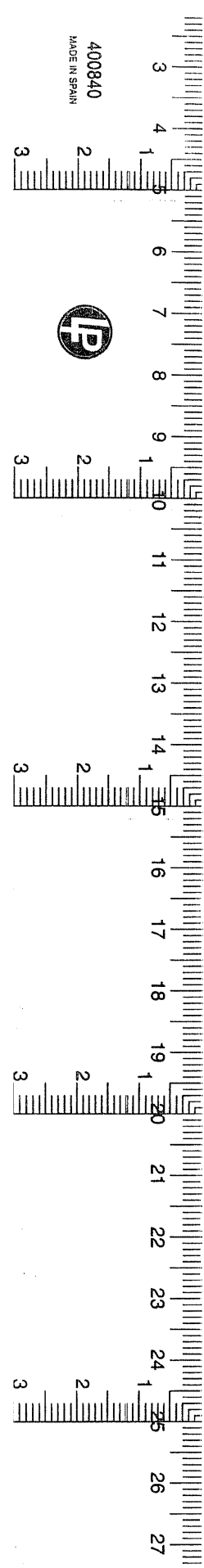
LEÍDO EN LA

UNIVERSIDAD DE GRANADA

EN LA SOLEMNE APERTURA

DEL

Curso Académico de 1929 a 1930



400840
MADE IN SPAIN



DISCURSO

LEÍDO EN LA

UNIVERSIDAD DE GRANADA

EN LA SOLEMNE APERTURA

DEL

Curso Académico de 1929 a 1930

R. 31089

UNIVERSIDAD DE GRANADA

DISCURSO

LEÍDO EN LA

SOLEMNE APERTURA DEL CURSO ACADÉMICO DE 1929 A 1930

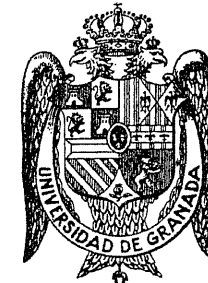
POR EL

Dr. D. Jesús Yoldi Bereau

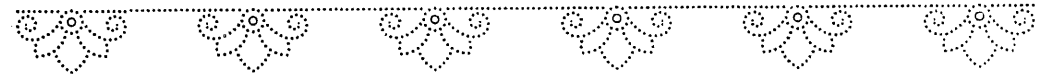
Catedrático de la Facultad de Ciencias

13

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA	
GRANADA	
N.º Documento	244551
N.º Copia	244563



GRANADA
LIBRERÍA LÓPEZ-GUEVARA
1929



EXCMO. SR.

SEÑORES:

CON gran inquietud y temor de espíritu y no poca desilusión, comencé y dí remate a este modesto trabajo que, por fuerza de deberes ineludibles, tengo el honor de leer en esta solemnidad académica; son la inquietud y el temor propios del débil ante los fuertes, del modesto cultivador de la Ciencia ante este respetable cuerpo de maestros, encanecidos los más en la Enseñanza; es la desilusión, propia también, del que emprende una obra, convencido de antemano de su inutilidad e ineficacia.

Soy, en efecto señores, un convencido de la inutilidad de estos discursos que muy pocos oyen y muy pocos leen; y soy además, y lo digo sin apelar al inhabil recurso de la falsa modestia, el último, por todos conceptos, de entre vosotros.

Ved, pues, si tengo razón para sentirme inquieto y temeroso y si será desatino confiar a vuestra indulgente y cordial acogida, los muchos defectos que encontraréis en este discurso, propios de quien, como yo, no ha cultivado otro terreno que el poco retórico de la ciencia química.

No esperéis, por tanto, de mis labios, frases altisonantes ni exquisiteces de lenguaje, que la Química, a la que dedico mis actividades, no se viste, en los tiempos que corren, con tales ropajes. La verdad debe presentarse desnuda, para más admirar su excelsitud; y si alguna vez se la adorna con las galas de las imágenes y se la anima con la fogosidad del verbo, es para hacerla más asequible a las inteligencias.

Uno de los problemas más árdulos que se presentan al que ha de llevar la voz de la Universidad en un acto como este, es el de la elección del tema a tratar; si se escoge uno de carácter general, su eficacia es dudosa; y si de carácter científico puro, sólo lo entienden los especializados. ¿Cómo acertar en tan difícil empeño?

Esto me tuvo indeciso durante bastante tiempo, hasta que, dispuesto a aportar una pequeña contribución al estado actual de un problema fundamental, me decidí a abordar uno, que creo puede interesar a gran parte de los que me escucháis.

El tema que pretendo desarrollar es: EL ELEMENTO QUÍMICO; SU EVOLUCIÓN Y CONCEPTO ACTUAL.

Pero, antes de pasar adelante, permitidme que exprese la satisfacción viva que siento en estos momentos al no tener que dar noticia alguna de bajas por defunción y la tristeza que embarga mi ánimo al dar a conocer la ausencia, por voluntad propia, de uno de nuestros compañeros más preeminentes. Me refiero al Dr. D. Fernando de los Ríos y Urruti, Catedrático de Derecho Político de esta Universidad, quien, por Real orden de 22 de Julio pasado cesó en el cargo que tan dignamente desempeñaba. Creo interpretar el sentir unánime de esta Casa al afirmar que, con la marcha del compañero querido, modelo de profesores y maestro insigne, pierde la Universidad de Granada uno de sus valores más positivos y una figura de valor internacional incontestable. Reciba con nuestro saludo la expresión de nuestra inquebrantable amistad.

Aprovecho también esta ocasión para dar la bienvenida en nombre de la Universidad a mi querido amigo y distinguido compañero el Dr. D. Adelardo Mora Guarnido, quien, por virtud de concurso de traslado, pasó de la Facultad de Medicina de Cádiz, en donde ingresó por oposición, a esta de Granada, posesionándose de la Cátedra de Patología general el día 14 de Mayo del presente año. Viene a la Universidad en la que cursó sus estudios y de la que fué Profesor auxiliar eminente, realizándose con esto su mayor ilusión.

Asimismo, me es grato dar la bienvenida al Dr. D. Luis Gonzaga Guilera y Molás, quien, en virtud de oposición y tras reñida lucha, fué nombrado en 21 de Mayo último, Catedrático de Histología e Histoquímica normales de la Facultad de Medicina de esta Universidad. De su gran valer y laboriosidad espera esta Universidad óptimos frutos en la Enseñanza e investigación. Séale grata esta Casa.

Uno de los problemas que, desde los más remotos tiempos, ha preocupado más intensamente a todos los filósofos de la Humanidad, ha sido el de la constitución de la materia.

Fué siempre objeto de preocupación constante, llegar a establecer la textura íntima de todas las sustancias que nos rodean, cuyo conjunto constituye el Mundo físico, buscar el carácter simplista dentro de la complejidad fenomenal, reducir, en una palabra, la extremada complicación de los fenómenos, aumentada

más y más a medida que la experimentación ha ido ensanchando horizontes, al menor número de principios.

Pero, este problema ha sido considerado, en distintos tiempos, bajo diversos aspectos. No todas las épocas, en la Historia de la Civilización, han sido propicias para el desarrollo de las ciencias experimentales. Puede decirse que el siglo XVIII, que ve aparecer en el cielo de la Química el astro de primera magnitud llamado Lavoissier, es el punto donde comienza una era fecundísima en descubrimientos.

Hay en los comienzos de la Historia de las Ciencias, una primera época que pudiéramos llamar de especulación pura, que culmina con la aparición de los fulgurantes y geniales filósofos griegos (Demócrito, Platón, Aristóteles, etc.), cuyas concepciones ideológicas han constituido, y constituyen hoy día, cantera inagotable de la que se han extraído las piedras angulares de la Física y la Química modernas.

Sigue una segunda época que, quizás injustamente, se ha calificado de nefasta para el progreso de las ciencias, durante la cual, lo sobrenatural y lo místico tiranizan los espíritus hasta el punto de concebirse las más extravagantes doctrinas para explicar los fenómenos naturales más sencillos; es el período del Arte sagrado y de la Alquimia en el que el hombre de laboratorio condensa todos sus esfuerzos en arrancar a la Naturaleza los impenetrables secretos de la *Piedra filosofal* y de la *Panacea universal*. ¡Extraño parangón con la época anterior, representada por los filósofos griegos, para quienes aplicar la Ciencia era degradarla!

Pero, es indudable que, todos los afanes materialistas de esta época fueron preparando el terreno, acumulando datos experimentales que nadie se preocupó en ordenar seriamente, para que el genio de Lavoissier verificara lo que se ha llamado «la revolución química».

Es a partir de este punto (mediados del XVIII), cuando comienza la verdadera aurora de la química. Los trabajos experimentales del gran Lavoissier y la aparición de su incomparable «Tratado de Química», modelo originalísimo que sirvió de base a todos los que se publicaron posteriormente, constituyen el principio de una nueva época, que bien podríamos denominar constructiva. En ella los descubrimientos se suceden de una manera inusitada; parece como si la química hubiera despertado de un largo sueño sembrado de pesadillas, con bríos extraordinarios y como si los hombres, dándose cuenta del tiempo perdido en esa época de incertidumbre y de tinieblas quisieran caminar más de prisa, impulsados por el ansia de conocer la esencia íntima de las cosas. Se desentierran teorías y se resucitan ideas, que la intuición genial de los filósofos griegos había creado y el período tenebroso había sepultado en el indiferentismo más cruel, tratando de adaptarlas a la realidad de los hechos observados.

En esta época, la experimentación está en todo su apogeo; se descubren

elementos y se hace su estudio monográfico; forzoso es confesar, sin embargo, que durante bastante tiempo nadie se fija en la semejanza de sus propiedades físicas y químicas para hacer estudios comparativos.

Pasa medio siglo y aparece el médico inglés Prout, quien hace ver que los pesos atómicos de los elementos encontrados son números enteros o próximos a enteros; y, tratando de interpretar este hecho, emite la hipótesis de que todos los cuerpos simples o elementos están formados por una sola materia que es el Hidrógeno.

Las ideas de Prout, que al principio son defendidas con pasión por eminentes químicos, vienen, a la postre, a ser abandonadas, ante la elocuencia de los pesos atómicos fraccionarios que Stas y Berzelius determinan con todo rigor; no se trataba de pequeñas diferencias atribuibles al error experimental. Por esto la hipótesis de la unidad de la materia adivinada por Prout pasa al olvido a pesar del esfuerzo de sus defensores.

Pero no resultaron infructuosos los trabajos de estos tiempos. Los estudios de las semejanzas entre los elementos químicos tuvieron como feliz coronamiento el descubrimiento, casi simultáneo, del sistema periódico por Mendelejeff y Lothar Meyer.

Con la aparición de esta clasificación tan racional, se inicia un nuevo período que pudiéramos llamar de sistematización, revisión y ajuste de los pesos atómicos. Se presentan lagunas difíciles de llenar; las tierras raras ofrecen un caso de difícil acoplamiento, pero el desmembramiento de éstas en todos los elementos que las constituyen y el descubrimiento de los gases nobles, van completando la primitiva tabla de Mendelejeff.

El descubrimiento de la radiactividad por Becquerel, marca un novísimo período, el actual, en el que las opiniones respecto a la noción de elemento son más encontradas debido principalmente a que Soddy y Rutherford demuestran, llegando al corazón del átomo mediante los rayos α , que la materia se desintegra, que el átomo no es la partícula indestructible que Dalton había imaginado. Vuelve la hipótesis de Prout con estos hechos experimentales y sobre todo con los maravillosos trabajos de Aston y sus colaboradores, que generalizan la noción de isotopía no limitándola a los elementos radiactivos en los que se había descubierto. Con ello se demuestra que la unidad de la materia es un hecho.

He aquí expuestos a grandes rasgos, los momentos más salientes de la Historia de la química en lo que a la noción del elemento se refiere.

Permitidme que vaya fijando mi atención en cada uno de estos períodos, deteniéndome en aquellos que irradian más luz respecto al objeto de mi disertación.

Si nos remontamos en el curso de los siglos y tratamos de averiguar los orígenes de nuestros conocimientos químicos, no tenemos más remedio que reconocer, que es en los pueblos orientales (China e India) en donde los hallamos.

«La civilización—dice Hofer—sigue el movimiento aparente del Sol: de Oriente a Occidente. China, India, Caldea, Egipto, se disputan la gloria de haber dado origen a los dogmas religiosos, a las Ciencias y a las Artes. De allí se extendió la luz a las regiones de Occidente. Las tradiciones antiguas atribuyen al Oriente el honor de todos los inventos útiles, pero este Oriente se desplaza y cambia de nombre según la situación geográfica de los pueblos. Para los griegos el Oriente era el Egipto, para los egipcios era el Asia, para los asirios la India y para los indios la China» (1).

Los chinos, pueblo más utilitario que dado a las especulaciones filosóficas, tenían conocimientos, desde los tiempos más remotos, de la existencia de los metales. Es curioso observar, tanto en este pueblo como en otros, que la historia de los metales comienza con el *bronce*, cuando se concibe mucho mejor que el hombre hallara, antes que otros, los metales nativos como el *oro*, el cual por su brillo intenso debiera haber llamado su atención. El *hierro* sucede al bronce, si bien por lógica química debiera extraerse este metal antes que el *estaño* y el *cobre*, (metales integrantes del bronce), puesto que la metalurgia de estos últimos es más complicada que la del hierro y hasta sus minerales presentan menos apariencia metálica.

Esta anomalía se atribuye a la dificultad de fusión y trabajo del hierro aunque, según Lenormant (2), son más bien razones de índole comercial las que imponían el uso del estaño.

Aunque más tarde llegaron a conocer el *amarillo* y el *blanco*, que no eran otra cosa que el oro y la plata, con los que fabricaban sus monedas, era imposible que considerasen a estas sustancias como elementos, pues no tenían medios de atacarlos, ya que los ácidos fuertes eran desconocidos para ellos.

Pocos son los datos históricos que se tienen de los indios (Arios); sin embargo se sabe que conocían los metales, su modo de extracción y el empleo de aleaciones, lo cual presupone conocimientos en química y metalurgia. Ignoraban, como los chinos, la preparación y el empleo de los ácidos fuertes.

Su sistema filosófico era, por el contrario, sumamente interesante. Para los

(1) Hofer. Histoire de la Chimie.

(2) Lenormant.—Les civilisations primitives.

filósofos indios son cinco (Panchatouan), los elementos componentes de la materia, a saber: Tierra, Agua, Aire, Fuego y Éter, número que también adoptaban algunos filósofos griegos. Todo cuerpo dotado de vida estaba integrado por estos cinco elementos, y al dejar de existir el sér viviente, volvía a descomponerse en ellos. Se desprende de aquí que, en principio, la ley de indestructibilidad de la materia era conocida en la India en épocas remotísimas.

De entre los filósofos indios se tiene noticia de Kanada (500 años antes de J. C.), quien, casi simultáneamente con los filósofos griegos, sostiene que la *materia es discontinua*, estando formada por partículas que vuelan en todas direcciones (1). Aplicad esta hipótesis a los gases y ahí tenéis la teoría cinética de los mismos.

La historia de la química entre los egipcios, fenicios y hebreos, tropieza con grandes dificultades, derivadas de la escasez de fuentes; se tiene que recurrir a los pocos papiros que quedan por contadas Bibliotecas y al estudio de monumentos y tumbas, para poder desentrañar algo provechoso. De estos pueblos el más interesante, desde nuestro punto de vista, es el primero.

Pueblo esencialmente agrícola el egipcio, apenas puede enseñarnos otra cosa que los conocimientos adquiridos de la India o Caldea, sin que por eso deje de presentar interés su estudio atento. Por lo que concierne a los metales, el hierro es poco empleado en el antiguo Imperio; parece ser un objeto de curiosidad, fabricándose con él brazaletes y objetos de adorno.

El retraso en la utilización del hierro, tiene todos los caracteres de ser general, pues aún en tiempos más modernos, señala la historia que, cuando los españoles conquistaron Méjico y el Perú, encontraron como metales útiles el oro y la plata, junto con el cobre, mientras que el hierro, cuyos minerales abundaban tanto en el Nuevo Mundo, era totalmente desconocido de los indígenas (2).

También parece que conocían los egipcios la manera de purificar el oro y la plata, por medio del plomo y de las cenizas de los vegetales (borith), atribuyéndose a este pueblo la invención de la moneda.

De lo que llevamos dicho hasta ahora se infiere, que estos pueblos utilizaban medios exclusivamente empíricos, con un fin utilitario inmediato y que, solamente en la India se vislumbran destellos de especulación filosófica, que irradian al pueblo egipcio.

Atraídos por esta leyenda, los filósofos griegos visitan el templo de Memphis, iniciándose en su arte sagrado, que no es sino un Codex de química, como dice Delacre (3) o «la química experimental envuelta en símbolos y dogmas religiosos», según expresión de Hoefler (2).

(1) Washburn.—Principes de Chimie-physique.

(2) Hoefler.—Histoire de la Chimie.. t. I, pág. 47.

(3) Delacre.—Histoire de la Chimie.

Y llegamos a la civilización griega, pobre en hechos de experimentación, pero fecundísima en teorías que asombran por su profundidad y por su carácter de generalización.

Thales de Mileto (640 años antes de J. C.) pretende indagar cómo y por qué se ha producido todo lo que existe al preguntarse cuál es el origen y el fin de la materia. Y nos dice, que es el *agua el principio* de todo; con ella se producen todas las cosas. Las plantas y los animales no son sino estados distintos de condensación del agua; todos se reducirán al fin a este *elemento*.

Pasan veinticuatro siglos y Dumas formula las mismas preguntas; asegurándonos, como contestación a ellas, que las plantas y animales no son más que *aire condensado*, insistiendo sobre ideas de Anaxímenes, quien también consideraba al aire como único *elemento*.

Véase en estas dos ideas, de hombres pertenecientes a épocas tan opuestas, que la hipótesis de la unidad de la materia les es común.

Para Anaximandro (611 años antes de J. C.) el principio universal de todo, es una cosa sutil e indefinida que penetra por toda la materia, que se separa por el movimiento y que, condensándose, da origen a todos los cuerpos que conocemos.

Pitágoras, que al igual de Thales había robustecido sus conocimientos en Caldea y en Egipto, consideraba a los *números* como constituyendo el principio de todas las cosas; pero no el número en su sentido usual y corriente, sino en otro más amplio, pudiendo significar magnitud, cantidad, cuerpos y sobre todo relación. Representaba los cinco *elementos, tierra, agua, aire, fuego y éter*, por sólidos geométricos y las moléculas como partículas infinitamente pequeñas. El Sol es, para Pitágoras, el centro del mundo y manantial de vida.

En la escuela eleática que Jenófanes de Colofón fundara (620 años antes de J. C.), no se admite más que el *sér* en sí mismo, negándose el movimiento, el vacío y la divisibilidad de la materia; precisamente las columnas básicas en que se asienta el edificio de la escuela atomista.

Heráclito (500 años antes de J. C.), considera al fuego o *elemento ígneo* como principio de las cosas, tomando su alimento de las partículas sutiles del aire. ¡Véase cómo adivinaba con una clarividencia sobrenatural, la explicación de la combustión, que no se demuestra experimentalmente hasta pasados 2.000 años! La luz del Sol y de los astros las explicaba por acumulación de sustancias aeriformes en ignición. Las leyes que rigen el Universo son, para éste filósofo, el amor y el odio, la atracción y la repulsión.

Establece Empédocles (460 años antes de J. C.) cuatro *elementos, tierra, agua, aire y fuego*, que no deben ser considerados como moléculas indescomponibles, sino formadas por una *multitud de partículas muy pequeñas e indivisibles*, que son los verdaderos *elementos* de la Naturaleza, siendo estas partículas homogéneas cuando constituyen cada uno de los elementos, tierra, agua,

etcétera. Estas partículas elementales las considera *invariables, indestructibles y eternas*, dependiendo los cambios de la materia del desplazamiento y combinación de ellas y regidos estos cambios por una cierta amistad y enemistad. Define el mundo físico como «la reunión de todos las combinaciones producidas por cuerpos elementales».

Contemporáneo del anterior filósofo es Leucipo (495 años antes de J. C.) quien introduce el nombre de *átomos* para estas partículas indivisibles y a quien se le puede considerar como el verdadero fundador del atomismo. Su sistema es análogo al que acabamos de citar, con la única diferencia de atribuir la causa de la combinación y descomposición a un movimiento interior de estos átomos, favorecido por la existencia de *intervalos vacíos*.

Los principios fundamentales de la doctrina de Leucipo, son asimilados por su discípulo Demócrito (470 años antes de J. C.), que los perfecciona en sus largos viajes por la Persia y Egipto, donde se adiestra en el conocimiento de las ciencias matemáticas. Efectuaba multitud de experiencias con el fin de profundizar en los secretos de los reinos vegetal y mineral. Tyndall resume el sistema de Demócrito en los siguientes principios: «Nada sale de la nada.—Nada de lo que existe puede ser destruido.—Todo cambio es debido a la combinación o a la separación de moléculas.—Nada sucede por azar.—Todo fenómeno tiene una causa, de donde deriva necesariamente.—No existen más que los átomos y el espacio vacío; no siendo todo lo restante más que pura especulación.—Los átomos son en número infinito y tienen una variedad infinita de formas, chocan entre sí y en los movimientos laterales y de torbellino que resultan de estos *choques*, es donde se encuentran los *comienzos* de los mundos.—*Las diferencias que existen entre las cosas dependen de las diferencias entre sus átomos, sea en su número, sea en sus dimensiones, sea en su agrupación.* El alma está formada de átomos finos, blandos y circulares, como los del fuego, impregnando todo el cuerpo y produciendo, por su movimiento, los fenómenos de la vida». (1),

Anaxágoras (498 años antes de J. C.), adopta la teoría atomista de Leucipo y Demócrito, despojándola de su materialismo agudo; admite en efecto, un *principio activo o inteligencia suprema* que no puede ser representada en ningún sistema material. Existen, para él, dos clases de generaciones: la de los elementos y la de las especies. Los alimentos dice, nutren los músculos, sangre y huesos; en una palabra, todas las partes del cuerpo. ¿Sería posible esta nutrición si estos alimentos no contuvieran átomos y moléculas idénticos a los que componen músculos, sangre, etc.? Admita, por lo que vemos, que la *cantidad de materia* de que se compone el mundo, *permanece constante*, cualesquiera que sean las transformaciones que sufra.

(1) Millican.—L' electron, pág. 11.

Los cuatro elementos tantas veces citados, aparecen en los escritos de Platón, (420 años antes de J. C.) envueltos en formas místicas. Dice Hoefer de este filósofo: «Se ha exagerado mucho del valor de ciertas expresiones que se encuentran en el Timeo (libro que encierra todos los conocimientos físicos de la escuela de Platón). Así, algunos eruditos pretenden reconocer el oxígeno cuando habla de la *madre del mundo*, y otros pretenden entrever el germen de la teoría del *flogisto*, cuando dice, que si por la acción del tiempo, la parte terrestre viene a desprenderse de los metales, (agua fusible) se produce un cuerpo que se llama herrumbre.

Aristóteles (384 años antes de J. C.) admitía cinco elementos: dos opuestos (tierra y agua), dos intermediarios (aire y fuego), y uno más movable que el mismo fuego, el éter, que daba origen al calor de los animales. Define el *elemento y principio de los seres*, diciendo que es «aquello de donde proviene toda generación y en donde termina toda destrucción, permaneciendo la esencia la misma y no cambiando sino de accidentes». Este gran filósofo desciende de las elevadas regiones de las ideas puras, en las que su maestro Platón bañaba complacido su espíritu, para ponerse en contacto con la Naturaleza misma. Así nos dice: «la experiencia debe darnos la materia propia para ser elaborada y convertirla en principios generales, pues la lógica no es sino el instrumento que debe dar la forma a la Ciencia».

Consecuente con este modo de pensar, estudia varios fenómenos naturales, como la vaporización del agua, la solidificación de la misma en forma de nieve, etcétera. Como todos los filósofos griegos, admite un principio activo, origen de las transformaciones y producciones de las cosas, el *hiloísmo*, «fuerza inherente a la materia, que la anima y vivifica y que no puede existir fuera de ella» (1),

El calor, la sequedad, la humedad y el frío, combinados dos a dos originan, según Aristóteles, los cuatro elementos: *Aire, Fuego, Agua y Tierra*.

Y terminaré el estudio de los filósofos griegos transcribiendo el juicio que a Taine le merecen. Esto me releva de hacer por mi cuenta un resumen crítico, ya que por otra parte, para llevarlo a término, necesitaría dotes que no poseo y haber efectuado un estudio más profundo de sus hipótesis y teorías. Mi actuación se ha limitado a entresacar las ideas que tuvieran relación con la noción del elemento. Si he concedido importancia a su sistema filosófico, ha sido porque, recorriendo la Historia de la Química, nos encontramos con que la hipótesis de los cuatro elementos prevalece hasta el siglo xvii y sobre todo, porque las ideas de Leucipo y Demócrito renacen con Dalton en 1808, siendo posteriormente la base de toda la Química.

(1) Garrido-Osorio.—Discurso de apertura de 1900 a 1901.

Dice Taine refiriéndose a los filósofos griegos: «Los griegos no han querido coger más que la flor de las cosas. No han tenido la abnegación del sabio moderno, que emplea todo su genio en esclarecer un punto de erudición obscuro, que observa durante diez años seguidos una especie animal, que multiplica y comprueba incesantemente sus experiencias o que, confinado en una labor ingrata, pasa su vida tallando pacientemente dos o tres piedras, para un edificio inmenso que no verá acabado, pero que servirá a las generaciones futuras» (1).

Es este, sin embargo, un juicio severo, porque si bien los filósofos griegos se remontaron por encima de las cosas sin mancharse con su contacto, pudieron, en alas de sus inteligencias poderosas, contemplar, desde las alturas a que les conducían sus genios, horizontes amplísimos y dejarnos el terreno sembrado por ideas que, posteriormente, habían de germinar.

Las teorías filosóficas de los griegos así como sus conocimientos técnicos, son anexionados a la cultura romana, siendo Lucrecio y Cicerón los principales propagadores de la cultura griega. Tanto griegos como romanos, llegaron a alcanzar bastantes conocimientos en la obtención de metales; de un mineral existente en la Isla de Chipre obtienen una aleación de cobre y cinc (especie de latón). Este metal es el que Plinio llama *Cyprium*, de donde vino más tarde el nombre de *Cuprum*. También obtenían el *auricalco*, que, según Festus, resultaba proyectando *cadmia* (óxido de cinc) sobre el metal *Cyprium*; por lo tanto era una aleación, especie de latón o cobre amarillo.

Plinio y Dioscórides, nos describen el procedimiento de extracción de un metal al que los alquimistas conceden después una importancia extraordinaria, por considerarlo constituyente de todos los metales; me refiero al mercurio, que recibía el nombre de *plata viva* cuando se presentaba nativo, y *agua plateada* cuando se extraía de su sulfuro natural.

Otros elementos como el azufre (*sulfur* de los romanos y *apiros* de los griegos), arsénico (*arsenicón* de los griegos, *auripigmentum* de los romanos), son asimismo conocidos y utilizados por ellos; estos dos elementos no juegan, sin embargo, el papel que le atribuyen los alquimistas unos siglos más tarde.

(1) Delacre.—Histoire de la Chimie, pág. 29.

En los primeros siglos de la era cristiana, surge una ciencia aparentemente nueva, aunque en rigor no es otra cosa que el Arte sagrado importado del Oriente a Grecia. Este arte sagrado, ciencia divina o ciencia hermética (de Hermes Trimegisto, el oráculo de los alquimistas), se puede considerar como la primitiva Química (*Chemia* o *Kemia*), y constituye un conglomerado de ciencia y fantasía, de verdades y errores, en el que la religión y la ciencia se hallan constantemente entremezcladas.

La escuela de Alejandría, propulsora de esta ciencia, ejerce una influencia perniciosa en el desarrollo de la química; porque, no obstante su espíritu eminentemente práctico, las extravagantes interpretaciones religiosas que daban a los hechos observados, perduran durante siglos y siglos anulando todo esfuerzo.

El principal representante de esta escuela es Zósimo el Panopolitano, quien efectúa experiencias que le hacen creer en la transmutación de los elementos. La evaporación del agua transformándose en una sustancia aeriforme y dejando un residuo salino, le hacen llegar a la conclusión de que aquella se transforma en *aire y tierra*.

Por el hecho de introducir un hierro enrojecido en el agua y producirse un gas inflamable, dedúcese que el agua se cambia en fuego. Al calcinar el plomo en copelas de cenizas de huesos y quedar un botón de plata, sácase la consecuencia de la transmutación de un metal en otro. Y, dados los conocimientos que entonces se tenían no tiene nada de extraño se creyera en la transmutación, puesto que no se sabían interpretar estos hechos reales.

Con el azufre y el arsénico, sustancias misteriosas para aquella época, efectuaban también algunas experiencias, como la coagulación del mercurio en un cuerpo negro que, calentado en vaso cerrado, se convertía en otra sustancia *roja*. «El negro y el rojo eran los símbolos de las tinieblas y de la luz y la reunión de estos dos principios, representaba en el orden moral, el Universo-Dios» (1).

(1) Hoefler, loc. cit.

Esta idea fué adoptada por los alquimistas, quienes sostenían que *todos los cuerpos* y principalmente los *metales, tienen por elementos el azufre y el mercurio*.

Las experiencias del arte sagrado eran ejecutadas por los iniciados, quienes juraban el secreto por todas las *potencias celestes y terrestres* y por la *tétrada* de los elementos; no podían descubrir sus conocimientos so pena de grandes castigos. Esta circunstancia, sumada a la utilización de los números cabalísticos y geroglíficos en su lenguaje, contribuían, no poco, al estancamiento de esta ciencia.

Una de las obras fundamentales de esa época es la «Kabbala» o «Cabala» (tradición), doctrina metafísica que tiene su origen en los judíos (200 años antes de J. C.) y que se transmite entre ellos secretamente de generación en generación, hasta incorporarse, a fines del xv, a la erudición cristiana.

El caballo de batalla de sus trabajos era la piedra filosofal, fuente de riqueza y santidad; para unos era el cinabrio, para otros el azufre o el arsénico, y para los más una cosa sobrenatural que no podía ser obtenida sino en condiciones excepcionales y que tenía la virtud de transmutar los metales en oro. Para prolongar la vida creían en la existencia de la piedra filosofal líquida, *elixir filosofal* o *panacea universal*, que unos suponían estaba condensada en el mercurio y otros en las tinturas de oro o plata.

No se reducían a tan *poca cosa* sus aspiraciones, sino que, asimismo intentaban la comunión con los espíritus, mediante una operación que la titulaban el *alma del mundo*. Por esto, la obra que ellos cultivaban era denominada *grande, arte sagrado o divjno*.

La Alquimia o Química de la Edad Media, recoge los conocimientos de la Escuela de Alejandría. Constituye el período letárgico a que me refería al principio, pues en el lapso de tiempo comprendido entre los siglos xi y xvi apenas si da señales de vida.

No culpemos de ello a aquellos hombres que, en la soledad misteriosa de sus laboratorios se afanaban, con una voluntad férrea, en buscar la verdad; más que los hombres influyó la época, toda llena de prejuicios fanáticos, para entorpecer la marcha de una Ciencia por entonces vilipendiada, ya que este espíritu dominante aniquilaba los esfuerzos de los que la representaban (1).

Pero dejemos estas consideraciones a un lado y prosigamos con nuestro cometido.

Son dignos de mención en este período, los alquimistas árabes, ocupados no obstante, más en estudios de Farmacia y Medicina que en los de Química;

(1) Se llamaba a la Alquimia, Ciencia negra y la palabra Físico era sinónimo de mago; por cualquier motivo se les encarcelaba o se les quemaba como brujos.

la finalidad de sus trabajos químicos consistía en llegar a la transmutación de los metales y encontrar la piedra filosofal. Más que creadores fueron recopiladores de Ciencia.

Brilla, sin embargo, entre sus filósofos, Geber o Yeber (siglo viii) a quien Roger Bacón considera como el *Maestro de maestros*. Al igual que Alberto el Magno, dá consejos atinadísimos para aquellos que quieran dedicarse al estudio de la Alquimia y describe con gran minuciosidad las propiedades del azufre, arsénico y de los siete metales oro, plata, mercurio, hierro, estaño, cobre y plomo, que se corresponden con los siete planetas y con los siete días de la semana. Adopta también la opinión de suponer a los metales cuerpos compuestos de azufre y mercurio, añadiendo él un tercero, el arsénico. Pero no son estos elementos los que nosotros conocemos; son de índole y naturaleza tan especiales, que, aquel que llegara a aislarlos podría, combinándolos convenientemente, obtener y transformar todos los metales.

En su obra «Alchimia Geber» se encuentran descubrimientos tan importantes como el *agua fuerte* el *agua regia*, la *piedra infernal*, el *precipitado rojo* y el *sublimado corrosivo*. Otros muchos descubrimientos de Geber los copian haciéndolos suyos, los Alquimistas de la Edad Media.

Ocupa el primer lugar entre los filósofos, físicos y teólogos de la Edad Media, Alberto el Magno (siglo xii) (*magnus in magia, major in philosophia, maximus in theologia*) quien, en su obra «De Alchimia», además de exponer las condiciones que debe reunir, todo aquel que al cultivo de esta ciencia se dedique, da a conocer su creencia en la transmutación de los metales diciendo, que: «los metales son todos idénticos en su esencia, no diferenciándose los unos de los otros más que en su forma», pero en otro lugar, considera las especies como inmutables, no pudiendo, bajo ningún concepto, ser transformadas unas en otras. ¿Cómo entonces admitía la transmutación? Es que para él, el plomo, hierro, plata, etc., no son especies; «son *una misma esencia*, cuyas formas distintas aparecen como especies» (1).

He aquí de nuevo el concepto de la unidad de la materia.

Considera una cosa sencilla el paso de la plata a oro, para lo cual basta comunicarle color y darle peso; pero, no se crea que él confunde el oro de los alquimistas con el oro nativo; lo dice terminantemente; que el oro preparado es un metal de color amarillo y brillante, con propiedades curativas. Cita también un *elixir* o *fermentum* que se prepara con los cuatro *espíritus* metálicos, mercurio, azufre, oropimente y sal amoníaco.

Bacón, el «Doctor admirable» que sigue en importancia, en esta época, a Alberto el Magno, dominado por la obsesión del estudio de la Naturaleza, hace

(1) Hoefer.—Loc. cit. pág. 394.

estudios de Astronomía y Química, condensando los trabajos de esta última en dos obras. «Alquimia Major» y «El espejo de los secretos». Cita en ellos el modo de obtener *arsénico* blanco, sublimando oropimente con limaduras de hierro; también habla de la necesidad del aire, para que arda una lámpara de aceite.

No cree en la transmutación de los metales en oro; lo considera tan absurdo, como creer, que una cosa pueda salir de la nada. Cita un *elixir rojo* para amarillear los metales y otro para blanquearlos, y obtener lo que los alquimistas llaman el oro y la plata.

Santo Tomás de Aquino «Doctor Angélico» (1225) discípulo de Alberto el Magno, compenetrado del papel importantísimo que el aire tiene en los fenómenos vitales, le atribuye la causa de la vida de los animales y vegetales. Indica también la manera de obtener oro.

Nuestros dos médicos alquimistas, Arnaldo de Vilanova y Raimundo Lulio (1240), (1) también admiten, como todos sus predecesores, dos elementos componentes de los metales; el azufre y el mercurio.

Los alquimistas que prepararon la reforma experimental iniciada por Van Helmont en el siglo xvii, fueron Basilio Valentin, Paracelso y Palissy (xv-xvi). El primero, considera al *antimonio*, apenas citado por los autores anteriores, como una de las siete maravillas del mundo, atribuyéndole propiedades para purificar el oro y el cuerpo humano.

Conoce diversos óxidos de este metal y compuestos como el hemético que menciona en su obra «Carro triunfal del Antimonio». Cita por primera vez el metal bismuto, que le considera como el *bastardo* del estaño.

Paracelso (xvi) ejerce una influencia poderosa en la Ciencia de su siglo, no reconociéndole, sin embargo, por Jefe todos los alquimistas de su tiempo, hasta el punto de, ni siquiera nombrarlo en sus escritos, como si jamás hubiera existido. La obsesión de este hombre extraordinario, complejo heterogéneo el más extraño, es la guerra que tiene declarada a los médicos galenistas e hipocráticos, «los Doctores de guante blanco que temían ensuciarse las manos en un laboratorio de química»; y se dirige a ellos en términos muy duros, asegurándoles que la Química dá la solución de todos los problemas de Fisiología, Patología y Terapéutica. Observa un aire *parecido a un viento*, cuando un metal como el hierro se pone en contacto con aceite de vitriolo y dice que este aire *se separa del agua*, de la cual es un *elemento*; sin embargo no descubre el Hidrógeno.

Los metales, así como el cuerpo humano, se componen, para este sabio, de tres elementos: el espíritu, el alma y el cuerpo, que no eran otra cosa que el

(1) Un estudio interesante de estos dos sabios ha sido llevado a cabo por el Dr. Goyanes. Discurso inaugural del Congreso de las Ciencias de Barcelona. 1929.

mercurio, el azufre y la sal. Los metales *muertos* o cal, pueden ser revivificados o *reducidos* con carbón; utiliza por primera vez la palabra reducir. Cree en la transmutación de los metales.

Contemporáneo de Paracelso es el último de los tres citados, Palissy, quien combate a los filósofos haciendo resaltar la superioridad de la experiencia sobre las teorías salidas del cerebro de aquéllos.

En el «Tratado de los metales», ataca rudamente a los alquimistas, demostrando, por copelación, que el oro y la plata que obtienen éstos no son el oro y la plata naturales.

Las teorías filosóficas y el dogmatismo van dejando poco a poco el paso al método experimental, permitiendo ésto, a la Ciencia química, caminar más deprisa.

Inicia esta renovación Van Helmont (1577) quien, dotado de un gran espíritu de observación, aun siguiendo las ideas de Paracelso, obtiene resultados prácticos de suma trascendencia. Es el primero que demuestra científicamente la existencia de cuerpos invisibles e impalpables, aunque materiales, a los cuales dá el nombre de *gases* y hace ver la necesidad de utilizar la balanza. Poco o nada nuevo añade respecto a los elementos, admitiendo como constituyentes de los cuerpos, tres: la sal, el azufre y el mercurio.

Siguiendo los estudios comenzados por Helmont sobre los gases, Boyle (1650), el *químico escéptico*, dá noción exacta de la presión atmosférica descubriendo la ley que lleva su nombre y aísla y recoge el gas hidrógeno, pero no reconoce su naturaleza. Dá una definición de elemento que viene a ser la misma de Lavossier «Elemento, dice, es todo aquello que es indescomponible». Es el que primeramente habla de mezclas (mixtures) y combinaciones (Compound mass) haciendo resaltar que en las primeras, los principios constituyentes no pierden sus caracteres y son fáciles de separar. Una novedad muy importante introducida por este eminente sabio, es el desterrar la *tríada* o *tétrada* de elementos. «Es muy posible—dice—que tal cuerpo compuesto encierre solamente dos elementos, otro cuerpo tres, otro cuatro, etc., de manera que puede haber sustancias que se compongan cada una de un *número diferente de elementos*».

Este solo enunciado representa, para aquella época, influida por las erróneas ideas de los alquimistas respecto al elemento, una revolución en la Ciencia química.

Comienza una reacción enérgica contra estas ideas, utilizándose las armas de la sátira y de la experiencia; distínguese en esta tendencia Kunkel, quien se indigna con las supercherías de la transmutación de los metales en oro, que no hicieron—dice—otra cosa que retrasar el progreso de la Ciencia. Efectúa el descubrimiento más importante del siglo xvii que es el del *fosforo* y obtiene la plata pura descomponiendo el cloruro con la potasa.

Juan Rey (1630) y Majow (1645) contribuyen al conocimiento del aire, de-

mostrando el primero, que es material, y que el aumento de peso de los metales cuando se calcinan al aire, proviene de éste; y el segundo demostrando que contiene un *principio* que se encuentra en el nitrato y que provoca la calcificación de los metales, llamándole a este principio, *nitro-aéreo*.

La teoría del flogisto de Stahl (1660-1734) que algunos consideran causante del retraso de la química, encierra, sin embargo, los fundamentos de un gran beneficio para ella, por la aproximación de los conceptos de cuerpos oxidables y oxidados; además, a Stahl y sus continuadores se debe el haber desterrado definitivamente la idea de que los constituyentes únicos de los cuerpos eran el azufre, la sal y el mercurio. Por otra parte, durante este período, se trabaja con gran precisión en análisis, introduciéndose muchos métodos cuantitativos.

Parte Stahl de la idea de que el fuego puede presentarse en dos estados distintos, *combinado* y *libre* y sostiene que todos los cuerpos encierran un principio de combustibilidad debido a tener *fuego combinado* (flogiston) que no se hace apreciable a nuestros sentidos hasta el momento en que rompe sus lazos con el cuerpo; entonces toma las propiedades del fuego y queda un residuo llamado *cal, tierra* o *ceniza metálica*. Para él la combustión consiste en el paso *del fuego combinado a fuego libre*. Cuanto más inflamable es un cuerpo, más flogisto posee; así, el carbón, los aceites, grasas, azufre, fósforo, etc., son sustancias muy ricas en flogisto, pudiendo comunicar este principio a otras que lo tienen escaso.

Había observado, sin embargo, que los metales al arder aumentaban de peso. ¿Cómo explicarse esto si el flogisto se eliminaba durante la combustión? Admitiendo que el flogisto era un principio más ligero que el aire, de masa negativa.

Esta teoría toma tal arraigo entre los químicos contemporáneos de Stahl que cuesta gran trabajo derrocarla.

Un descubrimiento notable llevado a cabo en esta época es el de la *platina* (Ulloa) encontrada en América al estado nativo. La introducen en Europa en 1740 y diez años después Scheffer reconoce en ella un metal nuevo, al que se le da el nombre de *platino*.

Chavaneau consigue purificarlo en grandes cantidades en los laboratorios de la Sociedad Vascongada de Amigos del País de Vergara, en donde, también por este tiempo, los hermanos de Lhuyart descubren el metal Wolframio (1).

Orientado hacia los estudios físico-químicos, le cabe a Cavendish (1731-1810) el honor del descubrimiento del hidrógeno, al que le da el nombre de *aire*

(1) Véase respecto a este descubrimiento el interesante discurso del Dr. Fages en su ingreso en la Academia (1909) y un trabajo del Dr. Moles en Los Anales de la Sociedad Española de Física y Química (1928).

inflamable y demuestra que este nuevo gas, necesita aire para quemarse. Utilizando la pila de Volta, hace saltar la chispa en una mezcla de este gas y de *gas deflogisticado* (oxígeno), originándose una explosión; pero a pesar de que dice que se obtiene un líquido que parece agua pura, no alcanza a demostrar la composición de esta.

Otro descubrimiento importantísimo es el del *oxígeno* por Priestley (1733-1804), obtenido haciendo actuar los rayos solares, concentrados por una lente muy potente, sobre el *precipitado per sé* (óxido rojo de mercurio); resulta un aire en el que arde una cerilla, más vivamente que en el aire mismo. Repite sus experiencias en París y después comunica la noticia a Lavoissier, Leroi y otros, si bien confiesa que no sabe lo que ha preparado.

También se atribuye este descubrimiento a Schaele (1742), pues según parece desprenderse de sus cartas, lo obtuvo un año antes que Priestley, calentando el nitro, el óxido de mercurio y el de manganeso.

El primer análisis del aire lo efectúa este notabilísimo químico, de quien dice Dumas «que no tocaba un cuerpo sin hacer un descubrimiento». Su trabajo sobre la magnesia negra (manganesa) le lleva a descubrir el *ácido muriático deflogisticado* (cloro).

Es de justicia citar entre los sabios de esta época a Lomonosoff físico-químico ruso quien, 1743 y adelantándose medio siglo a Dalton, intenta interpretar las propiedades conocidas de los cuerpos por una teoría análoga a la atómico-molecular de este último, si bien sus trabajos quedaron relegados al olvido más lastimoso, hasta que Menschutkin los resucita el año 1904 (1).

(1) Washburn.—Chimie-Physique, pág. 2.

Las ideas de los alquimistas antiguos sobre los elementos, que venían envueltas en un velo metafísico y adulteradas por los prejuicios científicos de la época, fueron modificándose gradual y lentamente por el método experimental y las nuevas técnicas de trabajo. Entre los filósofos que vivieron a fines del siglo xvii y principios del xviii hay varios que consideraron como errónea la hipótesis de los tres elementos constituyentes de la materia y algunos como Boyle y Stahl, pretenden haberla desterrado definitivamente, admitiendo la multiplicidad de los elementos, pero en rigor nadie logra destruirla.

Estaba reservada la gloria de esta reforma como también desbaratar el castillo inmenso del flogisto, en la solidez de cuyos cimientos todos los químicos del aquel tiempo creían, al espíritu clarividente de Lavoissier (1743). Dotado de un sentido práctico extraordinario adquiere una erudición sin igual, estudiando con los más grandes maestros de París; esta gran cultura, unida a un rigor científico extremado en el trabajo, le permiten llegar a descubrimientos trascendentales. Contaba solamente veintinueve años cuando presentó a la Academia un trabajo interesantísimo en el que, aplicando la balanza, descubre que el azufre y el fósforo al quemarse aumentan de peso, procediendo este aumento de una cantidad grande de aire, que durante la combustión se fija, por combinación, a estos elementos.

Generalizando este hecho piensa que todos los cuerpos que aumentan de peso por la combustión y calcinación y como consecuencia el aumento de peso de las sales metálicas, tenían la misma causa. Tres años de su actividad dedica los a resolver el problema de la calcinación de los metales y como resultado de sus trabajos, cree poder deducir que, una porción del aire o de una *materia cualquiera* contenida en el aire, como componente del mismo en un estado elástico, se combina con los metales durante su calcinación y que esta es la causa del aumento de peso observado en las sales metálicas. Conocidísima es su célebre experiencia que le demuestra la existencia en el aire, del elemento descubierto por Priestley, del cual hace su estudio.

En colaboración con Laplace efectúa el trabajo sobre la composición del

agua, demostrando que esta no es un elemento sino una combinación de aire inflamable (hidrógeno) y aire vital (oxígeno).

Como consecuencia de sus estudios sobre la combustión, combate la teoría del flogisto, sin dejar por eso de reconocer lo mucho que la química debe a Stahl, y cree que ha llegado el momento de conducir la Ciencia por senderos de razonamientos más rigurosos que, permitan distinguir y separar aquello que es observación, de lo que es sistemático e hipotético.

Algunos pretenden ver en la obra de Lavoissier los resultados de la aplicación de una técnica cuantitativa, pero téngase en cuenta que antes de esta época se habían hecho análisis cuantitativos muy precisos, utilizando la balanza. Si consigue llegar a la ley de invariabilidad de las masas durante la reacción, es, ante todo, porque se desliga de las teorías erróneas que hasta entonces eran sustentadas para la explicación de los hechos.

Toda sustancia puede adquirir los tres estados, sólido, líquido y aeriforme, según las condiciones en que se encuentre, no representando estos tres estados más que *modos* de la materia. Refiriéndose al elemento, dice lo siguiente: «Todo lo que se puede decir sobre el número y sobre la naturaleza de los elementos, se reduce a discusiones puramente metafísicas; son problemas indeterminados que se proponen resolver y que son susceptibles de una infinidad de soluciones, pero de las cuales es muy probable que ninguna esté de acuerdo con la Naturaleza. Me contentaré por tanto con decir que, si por el nombre de elemento, queremos designar las moléculas simples e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que no los conozcamos; que si, por el contrario, unimos al nombre de elemento o principio de los cuerpos la idea del último término al cual llega el análisis, todas las sustancias que no hemos podido todavía descomponer por ningún medio, son para nosotros elementos sin que podamos asegurar que estos cuerpos que consideramos como simples no sean, ellos mismos, compuestos de dos o de un mayor número de principios, pero puesto que, no tenemos ningún medio de separarlos, obran, a nuestro modo de ver, a la manera de cuerpos simples y no debemos suponerlos compuestos hasta el momento en que la experiencia y la observación nos den una prueba de ello». Abundando en este criterio, considera a los metales como cuerpos simples, y presume que las tierras (cal, magnesia, alúmina, etc.) cesarán de ser contadas entre el número de sustancias simples; le hace pensar en esto, su indiferencia con respecto al oxígeno, por lo que estas tierras deben ser óxidos metálicos, aunque luego dice que todo ello es conjetura suya.

Al derribar, con su teoría de la combustión, la del flogisto y crear con ello una nueva Química, Lavoissier se hace el Jefe de una escuela que al principio tiene pocos adeptos y sí muchos y bien caracterizados adversarios; pero estos van deponiendo su actitud de protesta frente al innovador, a medida que los hechos demuestran la razón de sus teorías.

Entre los adversarios de esta escuela se contaban autoridades científicas como Guytón de Morveau, Fourcroy y Bertholet, quienes al fin la reconocen; estos tres sabios elaboran con Lavoissier un proyecto de Nomenclatura a base de las ideas del primero de ellos, reforma que sale a la luz el 1787 y que ha regido casi en su totalidad hasta nuestros días.

Efectuada ya la *revolución química*, asistimos a un período en el que los descubrimientos de elementos se suceden con inusitada rapidez. Así, vemos como Davy (1778-1825), utilizando la pila descubierta por Volta, llega a aislar de la potasa y sosa, que ya Lavoissier sospechaba eran cuerpos compuestos los metales alcalinos potasio y sodio y aplicando este método electrolítico tan prodigioso en éxitos, descubre el calcio, estroncio y bario e intenta aislar el boro, por electrolisis del ácido bórico.

Los metales alcalinos descubiertos, son utilizados para obtener otros metales por reducción. Davy intenta aislar el boro y el silicio pero no logra caracterizarlos; son Gay Lussac y Thenard, quienes aíslan y estudian el primero de estos elementos y Berzelius el segundo, utilizando el poder reductor del potasio y sodio.

Al efectuar la electrolisis del ácido muriático, obtiene hidrógeno y otro elemento, el cloro. También son descubiertos por este tiempo el bromo y el yodo.

Contribuye a este avance poderoso los progresos del análisis químico y sobre todo el análisis espectral que inician Wollaston y Fraunhofer, permitiéndoles hallar varios elementos no muy abundantes en las especies mineralógicas y comprobar la existencia de algunos nuevos en el Sol y otros astros.

Puede decirse, sin hipérbole, que las *leyes de los pesos* o leyes de la combinación, dadas a conocer en esta época, establecen los fundamentos de la Química moderna; algunos las consideran, sobre todo la de los números proporcionales, como inspiradoras de la teoría atómica de Dalton, aunque si damos crédito a la autorizada opinión de Thomson, a quien aquel comunicaba sus impresiones durante el período de investigación, tanto uno como otro ignoraban la existencia de la ley Wenzel-Richter cuando el primero concibió su famosa teoría (1804).

Harden y Roscoe que han efectuado un estudio de los escritos de Dalton, opinan que este no llegó a deducir su teoría como consecuencia de sus experimentos con los gases, sino inspirado en ideas muy análogas de Newton sobre los flúidos elásticos.

A pesar de que Higgins trató de plantear una cuestión de prioridad sobre la idea del átomo, a la que también puede tener derecho Demócrito, hoy nadie duda sobre la paternidad de la teoría atómica.

En la obra de Dalton «A new System of Chemical Philosophy» llega, mediante razonamientos, a la conclusión de que «los cuerpos al estado elástico tienen sus partículas separadas a distancias mucho mayores que en cualquier

otro estado, ocupando cada partícula el centro de una esfera relativamente grande y que conserva su individualidad, manteniendo a distancia todo aquello que pueda ejercer influencia sobre ella por su peso o de otra manera: que el número de estas partículas, comprendido en un volumen dado, debe ser determinado, cualquiera que sea el límite de división, de igual manera que en una parte determinada del Espacio el número de estrellas y planetas no puede ser infinito, no haciendo el análisis o síntesis químico otra cosa que separar o reunir estas partículas, que los agentes químicos no pueden crear ni destruir».

Es decir que estas partículas límites de la divisibilidad, a las que denomina átomos, las considera, como los griegos, indestructibles y eternas. Gases distintos están constituidos por átomos distintos y un gas puro lo forman átomos idénticos cualitativa y cuantitativamente. Demuestra Dalton la ventaja inmensa que hay en determinar los pesos relativos de estas partículas últimas, tanto de cuerpos simples como de compuestos, y consecuente con este modo de pensar, dá a conocer la primera tabla de lo que él llama pesos atómicos, obtenida mediante el análisis, tomando como unidad la partícula de hidrógeno; es decir que confundía los pesos atómicos con los pesos de combinación o equivalentes.

Debe también la Ciencia química a este sabio insigne, la introducción de la notación simbólica. Representaba los elementos por circulitos que diferenciaba unos de otros mediante puntos, rayas, estrellas y radios. Berzelius, más tarde, adopta por símbolos las iniciales de los nombres latinos o la inicial y otra letra en el caso de existir varios elementos con la misma inicial. Delacre (1) opina que este simbolismo lo utilizó también Dalton, probándolo con una reproducción fotográfica de una hoja de su cuaderno de notas de laboratorio, en donde se vé que, al lado de los circulitos que simbolizaban los elementos, aparecen las iniciales de sus nombres ingleses.

Casi simultáneamente a la aparición de la teoría atómica de Dalton, dá a conocer Gay Lussac (1808), su famosa ley de los volúmenes, por la que demuestra la existencia de una relación sencilla, entre los volúmenes de los cuerpos reaccionantes y entre dichos volúmenes y el del compuesto resultante.

La explicación física de esta ley, la dá pocos años más tarde (1811) Avogadro, con su célebre principio, que luego se transforma en ley y de las más rigurosas; para ello, modifica la hipótesis de Dalton no considerando a las partículas materiales que forman los cuerpos como indivisibles (átomos), sino como moléculas (elementales o simples y compuestas). Si volúmenes iguales de gases o vapores, medidos en idénticas condiciones, están constituidos por el mismo número de *moléculas integrantes*, simples o compuestas, se deduce que, los pesos de estos volúmenes, con relación a uno que se toma como unidad (densidades),

(1) Loc. cit.

estarán en la misma relación que los pesos de las moléculas. Aquí comete el mismo error que Dalton, adoptando como unidad de peso el de la molécula de Hidrógeno.

Por camino independiente, llega Ampere a las mismas conclusiones, pero introduce una confusión lamentable en la hipótesis atómico-molecular de Avogadro, al suponer que los gases estaban formados de cuatro o más partículas (la partícula de cloro la suponía integrada por ocho átomos), en tanto que Avogadro suponía, tanto a la molécula de este gas como a las de Oxígeno, Hidrógeno e Hidrógeno, constituidas por dos átomos.

La confusión reinante entre átomo y equivalente no desaparece. a pesar de la distinción bien neta que establece Gaudin (1833) entre moléculas y átomos; fueron necesarios los trabajos de Gerhardt, divulgados en su «*Precis de Chimie Organique*» y las ideas de Canizaro dadas a conocer en su «*Sunto di un corso di filosofia Chimica*» y sus discursos en el primer Congreso internacional de Química celebrado en Karlaruhe en 1860, para establecer de una manera clara el concepto del peso atómico verdadero de los elementos.

Ya, desde este momento, los químicos pudieron tratar con pesos atómicos comparables, y es entonces cuando se empiezan a ver relaciones entre dichos pesos.

Medio siglo antes, Prout (1815) marcaba el comienzo de una serie de tentativas efectuadas con el fin de establecer dichas relaciones, con una hipótesis por la que se supone que los diversos elementos son condensaciones de Hidrógeno. Aun cuando esta hipótesis fué muy bien acogida por los químicos más eminentes, las determinaciones rigurosas de Berzelius y Stas, que demostraban la existencia de pesos atómicos fraccionarios, se oponían a ella.

Las determinaciones de pesos atómicos se suceden, utilizando los más diversos medios. (Ley de Dulong-Petit, ley de Mitscherlich y procedimientos químicos). Los trabajos de Stas y Berzelius en este sentido, pueden considerarse como modelos de exactitud y rigor, habida cuenta de los medios de que entonces disponían.

Establecidos rigurosamente los pesos atómicos de un buen número de elementos, se observa cierta correspondencia entre estos pesos y sus propiedades. Doebereiner primero, Chancourtois y Newlands después, dan a conocer sus observaciones sobre la repetición de propiedades, al variar el peso atómico.

Poco o nada se había hecho hasta entonces en orden a la sistematización de los elementos. Las clasificaciones de Guyton de Morveau, Lavoissier, Thenard y Berzelius, no se asentaban en principios científicos muy sólidos; se presentan como polarizadas en determinado sentido; así vemos, cómo Thenard hace girar todo alrededor del oxígeno y del agua y Berzelius no atiende más que al carácter eléctrico.

Era preciso disponer los elementos en un orden más natural, y son Mende-

lejeff y Lothar Meyer los que casi simultáneamente, y con independencia el uno del otro, nos dan la solución del problema con su *sistema periódico* de los elementos. El último de estos sabios dá a conocer, en 1864, una tabla conteniendo diez elementos, dispuestos por orden creciente de sus pesos atómicos, y poco más tarde Mendelejeff (1869), dispone todos los elementos por entonces conocidos (1), ordenados según sus pesos atómicos crecientes, y llama la atención sobre la repetición periódica de propiedades, estableciendo la ley que dice: «Las propiedades de los elementos son función periódica de sus pesos atómicos».

Forma una tabla con ocho columnas, dejando aparte al Hidrógeno, y comenzando por el Litio. Después del Fluor viene un metal, el Sodio, que cae debajo del Litio; se forma una nueva fila y se observa que resultan en las mismas columnas elementos químicamente análogos; así, los alcalinos están en una columna, en otra los alcalino-térreos, en otra los halógenos, etc. Constituyen puntos oscuros de esta ley las *tríadas* (Hierro-Cobalto-Niquel, Rutenio-Rodio-Paladio, y Osmio-Iridio-Platino), así como también el figurar entre los alcalinos Cobre, Plata y Oro.

Unos meses más tarde (1870), Lothar Meyer publica una tabla periódica análoga, calculando los pesos atómicos de los elementos desconocidos y dando a conocer variaciones periódicas en las propiedades físicas como volúmenes atómicos, puntos de fusión, volatilidad, valencia, etc. En esta última propiedad se observa que cuando se pasa de una columna a la siguiente, la valencia crece en una unidad. Colocados los elementos atendiendo a sus masas atómicas crecientes y a la analogía química, se sacrifica algunas veces la primera por la segunda, y así sucede que quedan casillas sin llenar; pero como se conocían las propiedades de los análogos químicos de los elementos que deben corresponder a esas casillas vacías, Mendelejeff predice sus propiedades: indica la densidad que tendrán estos elementos, los compuestos que formarán, sus reactivos, etc. Fué uno de los mayores éxitos el haber predicho la existencia y propiedades del Ekalumio, Ekasilicio y Ekaboro, que al poco tiempo son descubiertos, llamándolos sus descubridores Galio, Germanio y Scandio.

Pero aún sirvió para más el sistema periódico. Se pudieron corregir pesos atómicos no bien conocidos; esto sucedió con el Indio, del cual no se conocía ciertamente su peso atómico, y por las propiedades de los compuestos que forma pudo colegirse su verdadero lugar en la Tabla, y por lo tanto su peso atómico, ocurriendo otro tanto con el Glucinio y Cesio.

El descubrimiento de los gases nobles por Ramsay plantea el problema de su colocación en la Tabla; atendiendo a su afinidad nula para los demás elemen-

(1) Se abre un nuevo capítulo en la Química con el descubrimiento del Cesio y Rubidio por Bunsen y Kirchoff (1865), mediante la aplicación del espectroscopio al análisis.

tos, Brauner les dá ingreso, colocándolos en una columna de valencia cero, antes que las de los metales alcalinos. Aquí se presenta una anomalía, pues atendiendo a analogías químicas, el Argo (39,88) viene colocado delante del Potasio (39,10). Ya veremos más tarde a qué es debido esto, y cómo se explica por la Isotopía.

También Brauner hace ver que entre los pesos atómicos 140 y 173 deben ser colocados unos cuantos elementos afiliados a la columna IV y serie 8.^a. Se siente además, ante el caso del Cobre, Plata y Oro, y de otros análogos, la necesidad de dividir los grupos o columnas en subgrupos a y b. La gran laguna de las tierras raras fué resuelta gracias a las investigaciones con rayos Röntgen, y, según veremos más tarde, pudo precisarse exactamente el número de elementos que faltaba por descubrir.

Las recientes modificaciones al sistema periódico, propuestas por Oddo y Harkins, apenas varían el sentido fundamental de la primitiva Tabla de Mendelejeff, porque, como dice Sommerfeld (1): «Cualquiera que sea la modificación introducida, es preciso señalar que el carácter cíclico del sistema no nos da ninguna razón para cortar la Tabla en una columna mejor que en otra». Lo evidente es, que la razón nos lleva a pensar en algo común a todos los elementos, en una unidad fundamental, por cuyo acrecentamiento o disminución se pudieran explicar las variaciones graduales y periódicas en las propiedades físicas y químicas.

(1) La constitution del' Atome et des Raies Spectrales. T. I, pág. 74.

Al propio tiempo que la Química iba ensanchando el área de sus conocimientos, merced a la serie no interrumpida de descubrimientos notables, la Física progresaba rápidamente, preocupándose de interpretar teorías como la atómica, a la que no se había concedido la importancia necesaria hasta hace unos treinta años.

Las hipótesis de Faraday, traducidas al lenguaje matemático por Maxwell (1875), y los maravillosos descubrimientos de Herz (1886) sobre las ondas y radiaciones eléctricas, que corroboraban las teorías de los dos anteriores, hicieron creer que la naturaleza de la Electricidad fuera de carácter ondulatorio, aunque Maxwell ya dice que, para mejor explicar las leyes de Faraday, podría suponerse la existencia de una molécula de electricidad.

Los fenómenos de la electrolisis, regulados por las leyes de Faraday, no podían ser explicados por la teoría ondulatoria, puesto que se observaba que cada equivalente-gramo de cualquier sustancia estaba ligado a una cantidad de electricidad positiva o negativa, siempre constante, y fué Helmholtz (1881) quien, para explicar esto, supone que la Electricidad tiene naturaleza atómica, como la materia, y es Stonney (1891) quien propone llamar a esta unidad o átomo de electricidad el «electron», y afirma que cada átomo neutro debe contener dos electrones por lo menos, uno positivo y otro negativo (1).

Introducida la noción del «electron», Lorentz (1892) concibe su teoría electrónica de la electricidad, que concilia las teorías ondulatoria y granular, explicando, por la primera de éstas, los fenómenos de inducción, electromagnéticos y electrostáticos, es decir, las acciones a distancia; y mediante la segunda, los efectos eléctricos en el interior de los cuerpos, existiendo, entre electrones y éter, relaciones muy estrechas, pues todo electrón en reposo o movimiento originaría variaciones en el éter, las cuales se transmiten a través de éste con velocidades comparables a las de la luz.

(1) Las denominaciones de electrones positivos y negativos son aceptadas por físicos y químicos eminentes.

Puestos ya en este camino, los físicos se dedicaron con ardor a determinar el valor de este electrón, aplicándose primeramente para ello las leyes de Faraday, que permiten determinar el valor de la carga eléctrica elemental, dato no conseguido por medida directa ni aún con los instrumentos más sensibles.

Un hecho muy curioso, observado por esta época, se relaciona con los anteriores: me refiero al descubrimiento de los rayos catódicos, que aparecen en el tubo de Crookes, cuando se hacen saltar descargas de alta tensión a través de gases muy enrarecidos. Hablaba Crookes (1879) de un bombardeo molecular como la causa de la fluorescencia que esos rayos producen en la pared del vidrio, sospechando que dichos rayos fueran moléculas proyectadas por el cátodo.

Bien pronto demostraron, mediante el electroscopio, Thomson y sus alumnos (1895), que estos rayos eran partículas de electricidad negativa y hallaban su carga específica por la desviación que experimentaba en un campo magnético, deduciendo de ella que su masa era 1835 veces menor que la de los átomos de Hidrógeno. Este valor era independiente del gas estudiado, del enrarecimiento y de la naturaleza del cátodo.

Desde el momento en que se adivina que la materia puede ser condensación de electrones, comienzan innumerables trabajos, tanto en el campo de la Física como en el de la Química. Se investiga, por muy diversos procedimientos, el valor absoluto de la carga del electrón (1), y se emiten teorías sobre la constitución de la materia.

Thomson idea una teoría electrónica de la materia, suponiendo formado el átomo por electrones, girando, a velocidades grandísimas, en el interior de una esfera de electricidad positiva y dispuestos en anillos concéntricos. Un átomo de un elemento difiere del de otro, por el número y disposición de los electrones que lo constituyen.

Una vez que conocemos la naturaleza del electrón, cabe preguntar lo que ocurre con la electricidad positiva.

Goldstein (1886) descubre los rayos positivos o canales que se producen perpendicularmente al cátodo y en dirección opuesta a los rayos catódicos, siempre que dicho cátodo esté perforado. Se demuestra que son cargas positivas, al desviarse por un imán en dirección contraria a los rayos catódicos. Sometidos a la acción de un campo magnético y otro electrostático, se pudo observar que su velocidad era mucho menor que la de los catódicos y su carga específica 1835 veces menor, lo que representaba una masa 1835 veces mayor, dependiendo la magnitud de la carga específica, de la naturaleza del elemento que llena el tubo, lo cual indica que la electricidad positiva siempre se presenta unida a materia.

(1) Millican llega en 1913 a efectuar determinaciones que le permiten obtener directamente este valor, utilizando una balanza eléctrica que aprecia una diezbillonésima de miligramo.

Al objeto de estudiar detenidamente los rayos positivos o canales, y observar las agrupaciones atómicas o iones que pudieran formarse, Thomson somete estos rayos a la acción simultánea de dos campos: uno electrostático y otro electromagnético, cuyos polos estén en dirección perpendicular; fotografiando después el resultado de estas desviaciones, se obtienen ramas de parábola que corresponden, cada una, a partículas de una misma masa. Así se observaron, poniendo Hidrógeno en el tubo de descarga, tres ramas de parábola correspondientes a las partículas positivas H , H_2 y H_3 .

También por el camino de la óptica avanza la Física con paso de gigante, durante estos años, contribuyendo a esclarecer problemas interesantes de la Química.

Los espectros de llama descubiertos por Talbot en el siglo XIX, apenas llaman la atención de los físicos y menos aún de los químicos, en los primeros momentos. Ya indicamos, sin embargo, la importancia que adquiere el espectroscopio a raíz del descubrimiento del Rubidio y del Cesio por Bunsen y Kirchoff, permitiendo, su utilización para fines analíticos, descubrir un gran número de elementos. Son estos sabios los primeros que insisten sobre el carácter elemental de los espectros ópticos. Posteriormente, se observaron ciertas regularidades en la distribución de las rayas espectrales del Hidrógeno, obteniendo Balmer, como consecuencia de los estudios sobre ello, en 1865, una ley empírica que le permite calcular las longitudes de onda de las rayas del espectro de dicho elemento, demostrando que la disposición de dichas rayas no es caprichosa.

Esta ley, modificada por Rydberg, se intenta aplicar a otros elementos, y aunque no se observa en todos la regularidad que en el Hidrógeno, se aprecian, no obstante, series de rayas que se pueden relacionar variando la fórmula de Balmer.

Existe, por tanto, la citada regularidad en los espectros de los elementos, que hoy se trata de explicar por la teoría del átomo de Bohr.

Crookes (1886) somete las tierras raras a los espectros de fosforescencia y llega a descomponer la tierra Ythria en un cierto número de constituyentes, con espectros distintos, a los que denomina *meta-elementos*, formando su reunión el elemento Ythria. Fué, pues, este sabio quien por primera vez sospechó la heterogeneidad del elemento, aunque esta sospecha fuera infundada; en efecto, poco más tarde, se demostraba, por procedimientos analíticos, la heterogeneidad de la tierra Ythria, considerada hasta entonces como un cuerpo simple.

El Congreso Internacional de Química celebrado en París en 1900 considera definitivamente al espectro como carácter elemental, al aceptar, sin reservas, la proposición siguiente de Arnaldo de Gramont: «Todo elemento vendrá definido en lo sucesivo por un peso atómico determinado y por un espectro característico».

Esta definición, sin embargo, llega tardía, prevaleciendo solamente hasta que la Radiactividad e Isotopía han demostrado la necesidad de modificarla.

Los descubrimientos de los Rayos X por Röntgen (1895) y de la Radiactividad por Becquerel (1896), pueden grabarse con letras de oro en la Historia de la Físico-Química.

Es preciso convenir en que ambos descubrimientos vienen a desechar, para siempre, la hipótesis de la indestructibilidad del átomo, sostenida desde el tiempo de los griegos, y que ambos acontecimientos inauguran la nueva era de la estructura atómica.

De todos son conocidas las circunstancias que rodearon al descubrimiento de la Radiactividad por Henry Becquerel, cuando, al intentar averiguar si las sustancias fosforescentes producirían rayos análogos, en sus propiedades, a los X descubiertos un año antes, observa, con la estupefacción consiguiente, que una placa, envuelta en papel negro y colocada en sitio oscuro, es impresionada por una preparación de Uranio, sin que se pueda atribuir el hecho a la fosforescencia, pues la preparación y placa habían estado abandonadas varios días en la obscuridad. Hace, para cerciorarse, nuevos ensayos con otras sustancias fosforescentes, y se dá cuenta de que el fenómeno es característico e inherente del Uranio.

Poco tiempo después (1898), los esposos Curie descubren que la pechblenda de Joachimstahl (mineral de Uranio) emite esas mismas radiaciones, con un poder muy superior al de los compuestos puros de Uranio, y sospechando la existencia de un metal más activo que éste, efectúan trabajos laboriosísimos de separación, que les permiten aislar una sal con un poder emisor mil veces superior al del Uranio mismo.

En esta sal descubren y aíslan un metal extraordinario, el Radio, de peso atómico 226, que presenta, en grado superlativo, todas las extraordinarias propiedades que Becquerel encontrara en el Uranio. Estas propiedades curiosas, que se consideraban inherentes a la naturaleza misma de un elemento, se ven, pues, reproducidas, y con más intensidad, en otro distinto.

Pero no se contentan con esto los investigadores; es preciso ver si el fenómeno se repite, y ensayan, con este fin, los elementos de peso atómico elevado. Y, efectivamente, el hecho se generaliza, ya que Schmidt (1898), lo descubre en

el metal Thorio, aunque con menos intensidad que en el Radio, y los esposos Curie demuestran que también el Polonio es un metal radiactivo.

Al estudiar las propiedades de estos singulares elementos, los químicos se dan cuenta de que se hallan ante un fenómeno que no encaja en el marco de las reacciones químicas; todos los esfuerzos para encauzarlo o limitarlo resultan estériles. Las temperaturas más elevadas, los reactivos más fuertes, las descargas eléctricas más intensas, todos los medios, en fin, más potentes que el hombre puede disponer para modificar la velocidad de esta emisión o detenerla, resultan vanos; por eso alguien ha llamado a estas reacciones, *hiperquímicas*.

¿Y, cómo se ha de poder dominar a un elemento que ya en sí mismo almacena manantiales inmensos de energía y que la desprende con una velocidad muy superior a la del mismo Sol? Para dar idea de lo que representa esta energía, citaré el ejemplo de Sody (1), quien dice que, si supusiéramos al Sol constituido por Radio puro, la luz y el calor que emitiría, serían aproximadamente un millón de veces mayores que los emitidos con sus componentes actuales.

Debemos al genio experimental y a la voluntad férrea del sabio físico inglés Rutherford, los primeros estudios sobre la naturaleza de los rayos emitidos por esta clase de elementos. Observa el comportamiento de dichos rayos en el campo de un potente imán y deduce que están constituidos por tres clases: los rayos α , β y γ (2).

Los α , que están formados por átomos de Helio con dos cargas elementales positivas que constituyen casi el 90 % de la radiación; los β , que son electrones negativos, con velocidades muy poco menores que la de la luz y de un poder penetrante superior a los α ; y por último los γ , que son análogos a los rayos X, siendo por tanto vibraciones u ondulaciones etéreas, provocadas por la salida de las partículas α y β , sobre todo de las primeras, y con un poder de penetración muy grande.

Poco después del descubrimiento del Radio observan, la Sra. Curie en este elemento y Rutherford en el Thorio, que los cuerpos que se ponen en las proximidades de estos elementos o sus sales, se vuelven también radiactivos, pero con una radiactividad muy pasajera, mucho menos intensa, a la que llaman *radiactividad inducida o excitada*; el segundo de estos sabios descubre que ésta es producida por un gas al que llama *Emanación* (hoy Radon) y llega a licuarlo en colaboración con Sody en 1902. Una vez líquido, estudian sus propiedades y ven que este nuevo elemento, de peso atómico 222, se asemeja a los de la fami-

(1) Sody. Le Radium.

(2) También hoy se admiten otros menos importantes los δ y los de *retroceso*, los primeros producidos cuando los α o β atraviesan láminas metálicas y los segundos en la vibración, por *retroceso* que se produce en los átomos cuando son lanzadas las partículas β .

lia de gases nobles o cerivalentes que, pocos años antes, habían descubierto Ramsay y Rayleigh.

Pero lo importante del descubrimiento no radica en el hallazgo de un nuevo elemento, sino en el hecho de que uno como el Radio, pueda, sin intervención de fuerza alguna exterior y emitiendo solamente una partícula α , transformarse en otro elemento.

Entonces formula Rutherford su célebre teoría de la desintegración atómica, por la que se supone que unos elementos radiactivos originan a otros con el solo desprendimiento de partículas α o β . Por el estudio atento de estos fenómenos se vió, que la transformación de Radio en Emanación no era sino la primera de una serie de transformaciones sucesivas de este género, puesto que este gas deja, sobre los cuerpos, un depósito activo, que luego se puede descomponer en otros elementos Ra A, Ra B y Ra C, perdiendo sucesivamente partículas α , α y β . Pero no es esto todo, pues, a su vez, el Ra C se transforma, con desprendimiento de partículas β y γ , en Ra C, Ra D, Ra E y Ra F o Polonio. ¿Es éste el último término de la desintegración del Radio? ¿En qué se transforma el Ra F o Polonio cuando pierde una partícula?

Si el Polonio expulsa una partícula α , cuya masa es cuatro (el peso atómico del He es 4), debe transformarse en un elemento de peso atómico 206. Este último término, Ra G, debe ser un metal que se halle siempre acompañando a los minerales radiactivos, y como quiera que el Plomo se halla en estas condiciones, se pensó si éste sería el último término de la desintegración. Sin embargo, determinado el peso atómico del plomo daba un número (207,2) que no respondía a la hipótesis; este solo hecho venía a poner en tela de juicio la teoría de la desintegración. No desmayaron por esto los investigadores; sospechaban que el plomo procedente del Uranio fuese de distinta naturaleza que el ordinario, y entonces Fajans decide enviar a su ayudante Lemberg al Laboratorio Wolcot Gibbs, con el fin de determinar el peso atómico del plomo radiactivo, extraído del mineral de las minas de Uranio de Joachimstahl, obteniendo, mediante determinaciones muy precisas, un número un poco superior a 206, pero, en ningún caso, próximo a 207,2.

Era esta la primera vez que se encontraba para un mismo elemento, dos pesos atómicos distintos (isótopos).

Una vez que se hubo llegado a establecer la serie de transformación del Ra, surge el preguntar si este metal no procederá a su vez de otro. Se estudia el equilibrio entre el Radio y su emanación y ello nos autoriza a pensar que el primero debe de regenerarse constantemente a expensas de otro. Se sospecha que el Uranio sea el ancestral del Radio, pero para esto es preciso, dada la enorme cantidad de Uranio respecto a la de Radio existente en el mineral de aquel, que el primero se desintegrara millones de veces más despacio que el segundo, lo que comprueba la Sra. Curie. En efecto: Sody y Makencie se convencen de que

el ancestral del Radio es el Uranio, demostrando que un mineral del primero, purificado de Radio, produce al cabo de cierto tiempo Emanación.

El peso atómico del Uranio, toma, desde este momento, una importancia extraordinaria, aunque ya la tenía antes por ser el elemento de mayor peso atómico. Richards primero y después Hönigschmid, más exactamente, encuentran un valor 238,18.

Boltwod en 1906, halla el elemento productor del Radio, el Ionio, demostrando con esto que aquel no era el descendiente inmediato del Uranio.

Prosiguiendo estos estudios se viene en conocimiento de toda la serie de desintegración del Uranio, demostrándose que existen entre éste y el Radio los elementos siguientes: UX₁, UX₂, U_{II}, e Ionio, emitiendo 3 partículas α , 2 β y 1 γ . Es decir, que si restamos del peso atómico del Uranio, 238,18, la masa de 3 partículas α , se debe obtener el peso atómico del Ra y así sucede en efecto.

Otras series de desintegración se han estudiado; la del Actinio y la del Thorio, observándose que entre la del Uranio y la del Actinio, hay una estrecha correlación, pues éste procede del UX₂ pasando por el UY (isótopo del Th), descubierto recientemente por Hahn y Meitner. En las tres series existen las emanaciones gaseosas: Radon (Rn), Actinon (An) y Thoron (Tn).

De todos estos hechos se deduce que las transformaciones radiactivas no son más que transmuciones de elementos, puesto que, siempre que un elemento se desintegra, dá origen a otro, viniendo el fenómeno acompañado de una variación de energía libre extraordinaria, y que estas transformaciones son aparentemente lentas y graduales en relación con la masa total de la substancia que se transforma, pero que, consideradas átomo a átomo, se verifican de una manera explosiva, con lanzamiento de proyectiles α y β , predominando los α .

La gran velocidad con que salen lanzados estos proyectiles, y más que nada, la preponderancia de las partículas positivas, no se explica como no sea suponiendo que proceden de la parte positiva del átomo (núcleo).

Sody, Fajans y Russell, formulan en 1912, casi simultáneamente, las leyes de estas transformaciones diciendo: 1.^a Toda pérdida de partícula α trae consigo la obtención de un nuevo elemento, desplazándose dos lugares a la izquierda de la Tabla periódica y disminuyendo 4 unidades en peso atómico. 2.^a Una transformación β engendra un elemento que ocupa un lugar a la derecha del que lo ha engendrado y el peso atómico no se altera sensiblemente.

La pequeña pérdida de masa (1/2000 aproximadamente) originada por la salida de un electrón (partícula β), es de tal índole, que la disminución no es observable; casi siempre viene compensada por la captura de un nuevo electrón que no se fija sin embargo sobre el núcleo atómico, sino que queda en la parte periférica, completando el número de electrones necesario para que el nuevo átomo sea eléctricamente neutro.

Hemos visto en qué consiste el fenómeno de la radiactividad y la gran revo-

lución que esta introduce en la ciencia química, desde el momento en que se demuestra la posibilidad de transformarse unos elementos en otros sin concurso de fuerza exterior.

¿Será ésta una propiedad general? Desde luego se nota que son precisamente los elementos más pesados, aquellos en donde se manifiesta la radiactividad, es decir, en los de estructura más complicada. Pero también se ha demostrado que el Potasio y el Rubidio emiten rayos blandos sin ningún otro fenómeno radiactivo; cabe sospechar que la desintegración es tan lenta en los elementos de peso atómico bajo, que escapa a la observación más delicada. ¿Será la radiactividad una función del peso atómico como dice Sommerfeld? ¿Cómo explicar, por otra parte, las enormes cantidades de energía que se manifiestan en esta clase de transformaciones? Según todas las apariencias proceden del interior del átomo, mejor dicho, de su núcleo.

He aquí la importancia tan extraordinaria que el desenvolvimiento de la radiactividad ha tenido en el conocimiento de la estructura del átomo, de ese núcleo impenetrable para los hombres hasta no hace mucho tiempo.

El mundo intratómico, dice Sody, parece regido por leyes bien distintas a las que conocíamos, independientes de temperaturas y presiones y está sometido a unas fuerzas inmensas, de cuya potencia nos hablan los rayos α y β , mensajeros que vienen de ese mundo desconocido.

Uno de los problemas más oscuros que se presentan en la físico-química es el de la estructura del átomo. Se ha intentado resolverlo recurriendo a energías extraordinarias, puesto que los más formidables agentes se estrellaban ante la fortaleza interior del átomo. El descubrimiento de la Radiactividad pone en manos de los hombres un manantial de energía cinética incalculable; las partículas α , con su velocidad extraordinaria (20.000 kilómetros por segundo), son armas potentes de combate, que, desmoronando la parte central del átomo, nos han dado alguna luz sobre su contextura.

Mediante un aparato muy sencillo descubierto por Crookes, llamado *Spintariscopio*, se pudieron observar los impactos producidos sobre una pantalla fluorescente de sulfuro de cinc por las partículas α lanzadas por una sustancia radiactiva, y se vió que, cuando esta sustancia se hallaba a una distancia de la pantalla mayor de 7 cm, ya no se percibía el centelleo producido.

Convenía observar, no solamente las huellas producidas sobre una pantalla interpuesta en su camino, sino también las características de su trayectoria. Esto lo consigue Wilson (1913) mediante un procedimiento originalísimo, consistente en ionizar, utilizando los rayos X o los rayos que las sustancias radiactivas emiten, una atmósfera de aire saturada de vapor de agua; enfriando bruscamente esta atmósfera, por expansión rápida, se produce una niebla, y cada uno de los iones originados actúa de núcleo de condensación de una gotita, pudiendo fotografiarse estas gotitas merced a la luz que ellas emiten.

Por el estudio fotográfico de estas trayectorias se vió que existían unas confusas, poco abundantes y quebradas, originadas por los rayos β , deduciéndose de su observación «que los electrones no ocupan más que una fracción extremadamente pequeña del espacio que ocupa un átomo y que prácticamente todo sucede, para el electrón de gran velocidad, como si el interior del átomo estuviera vacío» (Rutherford). Existían, por el contrario, otras trayectorias, originadas por los rayos α , que eran mucho más numerosas y netas, llevando diversas direcciones rectilíneas que desaparecen súbitamente a los 7 cm, la mayor parte sin sufrir desviación alguna, pero experimentando algunas una inflexión, poco antes de su desaparición.

Se llegó a observar, al mismo tiempo, que cuando los rayos α atraviesan una lámina metálica finísima, sufren pequeñas desviaciones atribuidas a los electrones de los átomos del metal que constituye la lámina; pero otros veces se presentan desviaciones sumamente grandes.

Así las observadas en los gases, como las originadas por la lámina metálica, fueron atribuidas por Rutherford y sus colaboradores (1914). unas veces a la repulsión experimentada por la partícula α , al pasar muy cerca del núcleo central positivo y otras al choque con este mismo centro.

La desaparición brusca la explican por una neutralización de la carga positiva de la partícula, por los electrones del átomo del gas o metal; pierde entonces la partícula α el poder de ionización y, por tanto, el de condensación del vapor acuoso.

Para que estas desviaciones se produzcan, es necesario que la partícula α atraviese el átomo, lo cual requiere que haya *espacios libres* en el interior del mismo. Todas estas singularidades las explican suponiendo el átomo constituido por un núcleo central, sumamente pequeño, en el que se hallan concentradas toda la carga positiva y la masa; alrededor de este núcleo y a distancias que corresponden aproximadamente al radio del átomo, suponen colocados los electrones negativos, moviéndose como los planetas en torno del Sol.

Una idea análoga sobre la constitución de la materia fué expuesta por Leonard varios años antes (1903), quien suponía que existían *centros impenetrables* por él llamados *dinamidas*, que sólo formaban una pequeña fracción del átomo y en un número tal, que era proporcional a la masa de éste (1).

Mediante el cálculo directo de la carga de la partícula α , se llegó a determinar las dimensiones de los radios de los núcleos. Así se encontró para radio del núcleo del átomo de hidrógeno el valor 1×10^{-16} cm.

Para formarse una idea de lo que este número representa al lado de la magnitud del átomo mismo, que, calculado según la teoría cinética, es del orden 10^{-8} cm. podemos imaginar un átomo de H (2) aumentando hasta ocupar un volumen igual al de la tierra; el electrón sólo tendrá un radio de 120 metros y el núcleo el tamaño de una naranja.

Suponiendo toda la carga positiva de un átomo concentrada en un punto y que las repulsiones entre este núcleo y las partículas α que llegan a su proximidad obedecen exactamente a la ley de Coulomb, llegó Chadwick a calcular el valor de esta carga en función de las desviaciones observadas, encontrando que es aproximadamente igual a la mitad del peso atómico o sea que $Z = \frac{A}{2}$

Hoy se dice que esta carga es igual al número de orden del elemento en la

(1) Sommerfeld (loc. cit.) T. I, pág. 15.

(2) En 1 c. c. de gas hidrógeno hay $54,4 \times 10^{18}$ átomos.

Tabla periódica (número atómico de Sody). Pero por otra parte, como el átomo es eléctricamente neutro, se necesita que alrededor del núcleo existan un número de electrones igual a su carga positiva libre.

Barkla (1911), como consecuencia de experiencias sobre la difusión de rayos X, había llegado también a la conclusión de que el número de electrones que neutralizaba al núcleo era igual a la mitad del peso atómico.

Por esto, se puede definir el número atómico, como la carga positiva libre o como el número de electrones que gravitan en torno del núcleo positivo central. Para el carbono el número atómico es de $12/2 = 6$; para el nitrógeno $14/2 = 7$; para el oxígeno $16/2 = 8$ etc.

Para que los electrones negativos, que se hallan describiendo órbitas circulares o elípticas, no se precipiten sobre el centro positivo, se precisa que una fuerza centrífuga equilibre esas atracciones. Por otra parte, las cargas positivas, concentradas en un espacio tan reducido y colocadas, por consiguiente, tan próximas, se repelarían; es necesaria alguna fuerza o campo de fuerza que, uniéndolas, asegure la estabilidad del núcleo. La unión de estas cargas positivas, que Rutherford mismo llama *protones*, (1) la efectúan un cierto número de electrones que reciben el nombre de *nucleares*, para diferenciarlos de los que compensan a la carga positiva nuclear, que reciben el nombre de *periféricos*, (Sra. Curie).

El peso atómico de un elemento viene a ser, según hemos dicho, doble de su número atómico; como al protón se le supone de masa 1, y toda la masa la dan los protones, resulta que el número de protones será igual al peso atómico o sea doble de la carga positiva libre del núcleo o número atómico. Este exceso de protones tiene que venir equilibrado por electrones nucleares, pues de otra forma el núcleo no tendrá una carga igual a su número atómico. El Helio, por ejemplo, tiene una masa atómica 4 (4 protones) y de número atómico 2; es decir que la carga positiva libre de su núcleo es 2 y en consecuencia 2 cargas positivas han tenido que ser neutralizadas mediante dos electrones negativos en el interior del núcleo; éstos son los electrones nucleares. Harkins representa el núcleo del Helio así: $\left[\begin{matrix} \alpha & + & \beta & - \\ 4 & & 2 & \end{matrix} \right]^{++}$ siendo α las cargas positivas y β las negativas y supone que en el núcleo existen electrones de *enlace* y de *soldadura*. De una manera general, si representamos por A el peso atómico y por Z el número atómico, el número de electrones nucleares N vendrá dado por $N = A - Z$ o sea, que la diferencia entre el peso atómico y el número atómico es igual al número de electrones negativos que contiene el núcleo de un átomo cualquiera.

Para que esta hipótesis sea posible es necesario que los electrones nucleares tengan un diámetro mucho menor que los exteriores.

(1) El protón se suele identificar con el átomo de hidrógeno.

Los resultados anteriores no eran más que aproximados; se pueden considerar como los primeros tanteos que se hacían en orden a la estructura del átomo. Vienen a robustecer esta hipótesis, los descubrimientos sensacionales de los espectros de rayos X por von Laue (1912), interpretados genialmente por Moseley (1914) quien dió al número atómico todo el valor que hoy tiene, con uno de los descubrimientos más prodigiosos de la Física moderna.

Se suponía que los rayos X, descubiertos por Roentgen en 1895 y estudiados detenidamente por Barkla diez años más tarde hasta hallar su naturaleza, estaban constituidos por ondas electromagnéticas muy cortas que, a semejanza de las de la luz, pudieran experimentar el fenómeno de la difracción. Pero no se conseguía ésta, aún utilizando las más extraordinarias redes de difracción que se pudieran construir (1.700 rayas por milímetro). Eran necesarias unas redes que dispusieran más de un millón de rayas por milímetro y von Laue tuvo la genial idea de utilizar cristales naturales, en los que sospechaba que los planos reticulares formaban redes apropiadas para este objeto. Efectivamente, logró por este medio que los rayos X se difractaran y, como consecuencia, llegó a deducir la estructura interna de los cristales.

Más tarde, los Bragg (padre e hijo) estudiaron a fondo estos espectros de rayos X para lo cual idearon y perfeccionaron un espectrómetro, llegando a determinar las longitudes de onda de las diferentes rayas de los espectros de algunos metales y obteniendo conclusiones muy ajustadas sobre la estructura de los cristales.

Se debe, sin embargo, al físico inglés Moseley el estudio sistemático de dichas rayas, comparando sus longitudes de onda con el número de orden en la Tabla periódica; este estudio le permite llegar a conclusiones maravillosas.

Para observar el espectro de rayos X de los metales, ponía a éstos como anticátodos. Ya Barkla había descubierto que, cuando dichos rayos inciden sobre ciertos metales, producen, si son suficientemente penetrantes, unos rayos X secundarios homogéneos, con propiedades peculiares del metal; y vió que todos los elementos más pesados que el aluminio, podían emitir rayos de longitud de onda definida y característica para cada elemento.

Sería prolijo enumerar aquí las experiencias efectuadas por Moseley, así como las modificaciones introducidas por Siegban, Debye y Scherrer, para obtener los espectros de alta frecuencia (así se llaman estos espectros a causa de ser muy grande el número de vibraciones). Únicamente expondré las consecuencias importantes que de ellas se han deducido.

Por el estudio atento de los espectros de rayos X de los elementos se deduce, que todos estos tienen esencialmente el mismo tipo de espectro, no diferenciándose los unos de los otros más que por la separación de las líneas, desplazándose o corriéndose éstas, a medida que se pasa de un elemento a otro de la Tabla periódica.

Viendo que no había correspondencia exacta entre los pesos atómicos y el número de vibraciones de las rayas, ordenó los diferentes espectros según los números atómicos crecientes y trazó gráficas, tomando en uno de los ejes los números atómicos y en el otro las raíces cuadradas de los números de vibraciones ($\sqrt{\nu}$) obteniendo líneas francamente rectas. De aquí deduce una ley que viene a modificar profundamente la de Mendelejeff:

«Los números atómicos de los elementos están en razón lineal con las raíces cuadradas de los números de vibraciones de las rayas de sus espectros de rayos X».

Consecuencia inmediata de esta ley es considerar a dichos espectros dependiendo esencialmente del número atómico y no del peso atómico. Desde este momento, en que el número atómico adquiere más preponderancia que el peso atómico, se considera que la ordenación de los elementos, atendiendo a su número atómico, es más natural (1).

Y, en efecto, por virtud de este descubrimiento, y aplicando la ley de Moseley, se explican perfectamente las anomalías que se habían observado en la Tabla de Mendelejeff respecto a las parejas Ar — K, CO — Ni y Te — I. Es decir, que se inaugura un método de análisis, tan sencillo y potente, que permite, no sólo identificar un elemento, sino asignarle el lugar que le corresponde en la Tabla periódica.

Tan cierto es esto, que hoy se investiga más con espectros de rayos X que con los ordinarios. Una prueba bien positiva de la importancia tan trascendental de este método analítico, nos lo dá el hecho de que Moseley consiguiera reconocer, en unos días, los elementos integrantes de unas tierras raras que le suministrara Urbain, cuando esto había exigido la labor continuada de varias generaciones.

Pero no se reduce a esto los beneficios aportados por tan importante descubrimiento. Se consigue además precisar el número de elementos que faltaban por descubrir y se fija en 92 el número total.

Faltaban por entonces los elementos de números atómicos 43, 61, 72, 75, 85 y 87. De ellos el primero que se descubre, por Coster y Hevesy, es el 72 (Hafnio); después aparecen el Illinio o Florencio de número 61, estando establecida una cuestión de prioridad entre Harris Intema y Hopkins por un lado y Rolla y Fernández por otro. Por último se aumenta la lista con el Masurio y el Renio que ocupan los números 43 y 75 siendo sus descubridores Noddack, Tacke y Berg.

(1) Sommerfel.—Loc. cit.

Niels Bohr (1913) aplica la teoría de los cuanta de Planck a la teoría del núcleo atómico de Rutherford y establece su hipótesis acerca de la estructura atómica, con la cual se pueden explicar la mayoría de los hechos observados.

Idea Bohr un modelo de átomo para el Hidrógeno que explica sus propiedades físicas y químicas, y extiende esta manera de ver a los demás elementos. Supone el átomo de hidrógeno formado por una carga positiva, alrededor de la cual gira un electrón describiendo una órbita de un radio determinado y con una velocidad tal, que contrarreste la atracción del núcleo: el sentido de la rotación, así como la orientación del plano de la órbita, son arbitrarios.

Los electrones, según el modelo de Rutherford, debían crear, al moverse con movimiento no uniforme ni rectilíneo, un campo electromagnético, que tendería a oponerse a este movimiento, y por esta causa perderían energía por radiación hasta el punto que el núcleo los atraería hacia sí inevitablemente, llegando esto a constituir la muerte del átomo.

Modifica Bohr esta hipótesis, suponiendo que el electrón puede circular sobre ciertas órbitas privilegiadas, perfectamente definidas y con velocidad determinada, en las cuales este electrón gira sin irradiar energía (estado estacionario).

Claro está que, el suponer a un electrón con su energía, en un estado especial sin irradiarla es algo absurdo, pero son tantas las veces que hay que recurrir a absurdos ideológicos para deducir consecuencias prácticas, que no tiene nada de extraño se recurra una vez más a un absurdo, ni debe sorprendernos que dicha hipótesis haya obtenido tanto éxito, si se tiene en cuenta el gran número de fenómenos físicos y químicos que con ella se explican (rayos espectrales, valencia, etc.)

Las leyes de Kepler, según esta hipótesis, son aplicables al átomo de Hidrógeno y al de Helio, ampliadas con otra, deducida de la hipótesis de Plank, que establece proporcionalidad entre las áreas de las órbitas descritas por un electrón y el *quantum* de energía (1).

(1) Según la hipótesis cuantista, la energía vibratoria, no varía de un modo continuo, sino según una cantidad elemental de energía ($\text{Quantum} = 6,5 \times 10^{-27}$ c. g. s.) o múltiplos enteros de ésta.

Los electrones exteriores describen órbitas elípticas, definidas por cuantas de energía, ocupando uno de los focos el núcleo del átomo; éste atraerá a cada electrón según la constante de Planck y siendo el valor de sus ejes igual a uno o varios cuantas.

De estas órbitas son las unas estables, las más próximas al centro. Si por cualquier causa externa (calor, luz, electricidad, etc.) salta un electrón de una órbita privilegiada a otra de menor estabilidad (más externa), se emite energía radiante. Los pasos de electrones de un piso a otro del átomo, hacen vibrar al éter y originan las rayas espectrales; las longitudes de onda de las rayas del espectro del hidrógeno han sido calculadas según esta hipótesis y concuerdan, en absoluto, con las observadas directamente.

Dice Sommerfeld que el átomo de Hidrógeno es el prototipo de los modelos atómicos, sobre los cuales está fundada toda la teoría de las rayas espectrales.

El ión H que se forma a partir del átomo, por pérdida del electrón, no es, por consiguiente, sino el núcleo más sencillo; como quiera que el volumen del electrón es mucho mayor que el del núcleo, al desaparecer aquél, el volumen se reduce notablemente; lo que explica perfectamente su movilidad en los electrolitos y su actividad en los ácidos. Un ión H con dos cargas positivas, no puede existir según esta representación.

El átomo de Helio, cuya masa es cuatro veces la del Hidrógeno y cuya carga nuclear es dos, viene representado, según Bohr, por un núcleo central con doble carga positiva y dos electrones diametralmente opuestos, girando sobre la misma órbita. Pero según Sommerfeld, dicho sistema tendría propiedades paramagnéticas, siendo así que el átomo de Helio tiene propiedades diamagnéticas; por eso, este sabio, concibe otro modelo para este átomo, suponiendo al núcleo unido íntimamente a un electrón, mientras el otro gravita en rededor suyo, aunque también es probable que los dos electrones giren en órbitas distintas y a igual distancia del centro.

El ión de Helio $[\text{He}^+]$ consiste en un núcleo con doble carga positiva y un electrón, teniendo, por tanto, la misma constitución cualitativa que el átomo de hidrógeno, si bien el radio de la órbita debe ser doble que el del Helio.

Las partículas α no son otra cosa que un átomo de Helio, habiendo perdido sus dos electrones; queda por consiguiente el núcleo, que, por ser tan pequeño, presenta esa enorme penetrabilidad. Ya vimos, cómo Harkins suponía constituido el núcleo de dicho átomo. Se puede considerar a la partícula α , en el sistema periódico de los elementos, como un término intermedio entre H y He.

En el átomo de Litio, dos electrones están situados en un anillo interior y otro en uno exterior, unido más débilmente; este es el causante de la monovalencia del metal. Siguiendo el orden de los elementos según la Tabla periódica, del Li al Ne, los electrones que forman el anillo exterior van aumentando de uno a ocho. La disposición de éstos en torno del núcleo, ha dado origen a varias

hipótesis (Bohr, Vegard, Langmuir), pero nosotros sólo diremos, respecto a esto, que parece lo más probable estén dispuestos en pisos, que se van formando de dentro a fuera, no originándose ninguno nuevo hasta que no estén completos los anteriores; es decir, hasta que tengan sus ocho electrones. Si excediera de este número, se forma un nuevo piso. Una órbita de un electrón es poco estable (Li, Na, K, etc.); una órbita de dos electrones es ya más estable (Ca, Ba, etc.). Una órbita de 7 electrones tiene tendencia a atraer a otro electrón para formar un sistema estable con su piso exterior de 8 electrones; también las órbitas de 6 electrones tienen tendencia a atraer a 2 electrones, pero con menos fuerza que las de 7.

Kossel (1) explica la valencia, según este modo de ver, por atracciones electrostáticas; así, en el caso del cloruro sódico, el Sodio, que tiene 11 electrones dispuestos en tres pisos de 2, 8 y 1, electrones, tiene uno en su órbita exterior que salta a la externa del Cloro, cuyos 17 electrones están dispuestos en tres pisos con 2, 8 y 7 cada uno. Con este traspaso, el Sodio adquiere carácter positivo monovalente y el Cloro se vuelve negativo; originándose así la atracción entre Na^+ y Cl^- para formar cloruro sódico. Estos iones no sólo se forman en disolución sino que existen en el mismo cristal de cloruro.

Los gases nobles, cuyo piso externo contiene 8 electrones, no pueden ceder ni admitir ninguno; no tienen valencia, son cerivalentes. Esta teoría de los octetes, explica el hecho de que la suma de las valencias positivas y negativas de un elemento (valencias y contravalencias) sea igual a 8. (Abegg). Estos 8 electrones, según Born, ocupan los vértices de un cubo.

La limitación a 8 electrones, sólo atañe al piso más externo, pues cuando éste se encuentre ya formado, pueden adicionarse más electrones a los pisos interiores que llegan a tener 18, 32 y aún más electrones; así el átomo de Hg (por ejemplo) se le supone formado por los siguientes pisos: 2—8—18—32—18—2.

La génesis teórica de los elementos continuaría de esta manera hasta el Urano, complicando cada vez más la cuestión, pues ya hay que tener en cuenta posiciones y movimientos relativos de los electrones. ¡Calcúlese qué serie de complicaciones y acciones mutuas sobrevendrán cuando, como en el caso del Urano, se tenga que dar colocación a 92 electrones! En estos casos, de ordinario, el problema se reduce a consideraciones generales de carácter un poco vago, puesto que los datos son insuficientes para formular nada concreto.

Lo que sí parece impuesto por los hechos, es la distinción de tres regiones en el átomo, a las que se atribuyen propiedades bien características: la región superficial o corteza, la intermedia y la central o núcleo.

De la primera, parecen depender las propiedades químicas y algunas físicas,

como los espectros ordinarios y la valencia, observándose periodicidad en las mismas. Es esta región, la que los físicos y químicos habían estudiado, la que permitía identificar y estudiar al elemento.

Los espectros de emisión se suponen originados por los movimientos de los electrones de esta zona; según esto, todos los elementos que tengan la misma zona cortical, o sea, los elementos de la misma columna del sistema periódico, deben tener, cualitativamente, el mismo espectro (Kossel); la experiencia parece confirmar esta semejanza. Las relaciones exteriores del átomo, dependen del número y disposición de los electrones de valencia o corticales; el mismo volumen del átomo, viene determinado por la magnitud de las órbitas; y muchas propiedades, como el carácter térmico, elasticidad y conductividad, son propiedades dependientes de la región externa del átomo (Sommerfeld).

La región intermedia, más próxima al núcleo, dá lugar a los rayos Röntgen, debiendo éstos su fuerza penetrante y su dureza, al origen central de los mismos; pues, en la proximidad del núcleo, las fuerzas son más intensas.

El núcleo, o región central del átomo, es el que imprime al elemento casi todos sus caracteres, pues, por su carga positiva (número atómico), viene regulada la estructura de las capas electrónicas, y, por consiguiente, las propiedades físicas y químicas. En este núcleo está concentrada la masa del elemento y, por tanto, él fija el peso atómico.

Según dijimos, se establece un equilibrio dinámico entre electrones nucleares y protones, que influye en la estabilidad e inestabilidad del elemento. Cualquiera modificación que se produzca en este equilibrio va acompañada, no solamente de una modificación del elemento, con lanzamiento de partículas α , sino también de una variación en su estabilidad.

Estas modificaciones no tienen lugar de fuera a dentro, es decir, que la energía exterior no las origina, por ser muy fuertes los lazos que unen los materiales que constituyen al núcleo. Son estos mismos núcleos los que se descomponen violentamente, de una manera explosiva, sin que el hombre pueda intervenir en esta transmutación, que la Naturaleza nos ofrece en ciertas sustancias (las radiactivas) (1).

(1) Perrin propone una teoría sobre la desintegración, admitiendo como originaria de ésta la absorción de unos rayos sumamente penetrantes (rayos ultra X) que supone vienen del centro de la Tierra).

(1) Kossel.—Les forces de valence et les spectres de Roentgen.

Si bien es cierto que el hombre asiste como espectador impotente al extraordinario espectáculo que la Naturaleza le ofrece, en la desintegración radiactiva, no es menos cierto que sabe sacar provecho de las fuerzas inmensas que se ponen en juego en este fenómeno, utilizándolas para desmoronar los núcleos de otros átomos. Las partículas α , procedentes de las transformaciones radiactivas, dotadas de una masa que no poseen las partículas β y de una velocidad enorme, son utilizadas como verdaderos arietes demoledores de los centros atómicos macizos; pueden, en ciertos casos, alcanzar de lleno sobre las partes constituyentes del núcleo y lanzarlas fuera de la esfera de acción de éste, aunque inmediatamente el equilibrio dinámico que en él reinaba, y que fué perturbado por la intromisión de las partículas α , tiende a restablecerse, si bien para ello sea necesario un reajuste instantáneo del sistema electrónico exterior, en armonía con las exigencias del núcleo resultante.

Los primeros ensayos efectuados, en orden a la desintegración artificial de los elementos, se deben a Ramsay (1912), quien, haciendo actuar el Radon sobre soluciones acuosas de sulfato de cobre perfectamente purificadas, dice se producen vestigios de Litio; y sometiendo, en una ampolla de Crookes, hidrógeno enrarecido al bombardeo catódico, observa la presencia del Ne y He.

Sin embargo, sus experiencias no son concluyentes, pues al repetir las otros investigadores, las opiniones respecto a su veracidad son muy encontradas.

Marsden observa en 1914, y después lo comprueba Rutherford, que las partículas α emitidas por el Ra, y mejor aún por el Ra C, efectúan, en número reducidísimo, recorridos superiores a 50 cm., antes de su desaparición; y, sospechando que dichos rayos no fueran producidos por partículas α sino por átomos de Hidrógeno, los somete a la acción sucesiva de un campo magnético y electrostático, deduciendo, del valor de la carga específica y de la velocidad, determinadas por las desviaciones, que estas partículas no eran otra cosa que átomos de Hidrógeno con simple carga positiva (H^+) o núcleos de Hidrógeno. Al principio, se sospecha que la causa productora de este Hidrógeno es la misma substancia radiactiva o la humedad, pero repetidas las experiencias en atmósferas absolutamente secas, se obtienen resultados análogos, con el Hidrógeno y el Nitrógeno.

no. Sobre todo, en este último caso, se vió que se producían muchos más rayos de trayectoria larga, que los sospechados.

Las experiencias efectuadas con O y CO_2 , no dieron rayos de trayectoria larga, y ya no se podía atribuir este fenómeno a la humedad, porque iguales resultados se obtenían operando con gas seco o húmedo.

La explicación más verosímil era, que los núcleos de Nitrógeno estaban constituidos por otros de Hidrógeno y que esos núcleos eran destruidos por las partículas α , quedando entonces en libertad los rayos H, observándose que el número de éstos es proporcional al número de átomos de Nitrógeno y que es 25 % más elevado en este elemento puro que en el aire (1).

Ni para el oxígeno, ni para ningún elemento de peso atómico múltiplo de 4, se observa la producción de rayos de Hidrógeno.

Rutherford dá una explicación de este desprendimiento de rayos o átomos de hidrógeno, suponiendo que estas partículas H son *satélites* del núcleo central, consiguiéndose su liberación, merced a la energía comunicada por las partículas α ; cuando una de estas alcanza a una partícula H en dirección tangencial, esta sale lanzada casi en la misma dirección, pero en el caso de que el choque sea central, la partícula H es lanzada hacia el interior del átomo y en las proximidades del núcleo sufre una desviación grande, produciéndose una inflexión.

El estudio posterior, efectuado con elementos tan diversos como Al, B, Na, F, P, demuestra asimismo, que los núcleos de estos átomos, sometidos al bombardeo de partículas α , desprenden rayos H si bien el recorrido de ellos es distinto en diversos elementos. En el Aluminio, por ejemplo, se observan recorridos hasta de 80 cm., y la emisión de estos rayos se verifica en todas direcciones, como si la partícula α hubiera actuado de fulminante productor de la explosión del núcleo. Explica Rutherford este caso del Aluminio, suponiendo que en este elemento las partículas H están más próximas al núcleo y que siendo mayor la energía en esta clase de núcleo, la desarrollan mayor al desintegrarse.

Blacket (1925) utiliza las partículas emitidas por el Thorio C y consigue fotografiar, por el método Wilson, 270.000 trayectorias de partículas lanzadas en atmósfera de Nitrógeno. El estudio atento de las 34.000 fotografías que contenían estos trayectos, le permiten demostrar que sólo en diez casos hubo encuentro con átomos de H, He y N, ocurriendo, en ocho de ellos, una bifurcación en el trayecto, consiguiendo demostrar que una de estas ramas corresponde a un protón y otra a un núcleo de masa 17; la partícula α queda retenida en el núcleo del Nitrógeno y sólo sale expulsado un protón. Podemos representar el fenómeno así:



(1) Graetz.—Teoría atómica.

Es este por consiguiente un proceso de integración de núcleos, que no se ha repetido por ahora en otros casos, pero que traza un nuevo camino para la investigación.

Para explicar los fenómenos de desintegración artificial, Rutherford y Chadwick suponen que, a distancias muy pequeñas, la ley de Coulomb sobre la repulsión de partículas cargadas de igual signo, cesa de ser valedera, manifestándose entonces las leyes de atracción newtoniana; pero la escuela vienesa del Instituto de Radio, representada por Peterson (1), (1924) se pronuncia en contra de la escuela de Cambridge, acaudillada por Rutherford, admitiendo que a muy débil distancia, el desplazamiento de las partículas positivas y negativas en el núcleo, puede dar lugar a una atracción aproximándose las cargas negativas (electrones nucleares) a la α y alejándose de ésta las positivas o protones. Sostiene Peterson la hipótesis de la *explosión*, según la cual, la partícula α , al llegar a las proximidades del núcleo, sería captada por éste, mediante atracción electrostática y con ello se originaría una inestabilidad productora de la explosión del núcleo con emisión de rayos H.

Sea cual fuere la explicación verídica de estos fenómenos, es lo cierto que se han sometido a la acción del bombardeo de partículas α , más de 30 elementos, y se ha comprobado que sólo los elementos de peso atómico $4n + 2$ dan partículas H. Se sospecha que entra en la constitución del núcleo, además de Hidrógeno, otro núcleo de masa 3 y carga nuclear 2 (isótopo del He).

En definitiva, por estas experiencias parecen revelarse tres constituyentes del núcleo; núcleos de He, núcleos de H, y núcleos de masa 3.

Perrin (2) admite la idea de que el núcleo de Helio puede existir ya formado en el núcleo de los átomos y en efecto, el hecho de que el peso atómico de este elemento es casi exactamente 4 (Para O = 16) y el de que en las transformaciones radiactivas se desprenda este núcleo, hace pensar en que se encuentre ya formado en el interior del mismo, o que los protones estén reunidos en grupos de 4 por ser esta agrupación muy estable.

Broslera opina, que protones y electrones están unidos en el núcleo por enlace, que un mecanismo preciso e instantáneo puede hacer combinar para formar partículas α . (3)

Además de las experiencias de desintegración de núcleos citadas, se han efectuado, y se están llevando a cabo constantemente, intentos de transmutación de elementos.

De entre éstos, merecen citarse los trabajos de Nagaoka (4) que pretende

(1) Peterson.—Journ de Phy et Radium 1925 (del Wien ber 155—1924).

(2) Perrin.—Les átomos.

(3) Aston. Les isotopes.

(4) Nagaoka.—Journ de Phys et Radium VI-7-209-1925.

haber efectuado la transmutación del mercurio en oro, haciendo pasar una descarga condensada entre un electrodo de Wolframio y uno de Mercurio, introducidos en aceite de parafina o de transformador. Utilizaba para sus experiencias un campo de 600.000 voltios habiendo purificado el Mercurio mediante 2 ó 3 destilaciones al vacío. Examinada por medios químicos la pasta oscura que resultó y más que nada haciendo un estudio microscópico de un vidrio rubí obtenido con ella, se demuestra la presencia de oro al estado de finas partículas coloidales.

También parece probable la transmutación del Plomo en Mercurio efectuada por Smits y Karssen (1927) (1), mediante descargas de alto voltaje entre electrodos de plomo sumergidos en sulfuro de carbono. Dice haber obtenido 5 miligramos de mercurio a partir de 850 grs. de plomo durante 188 horas.

Parece ser que estas transmutaciones se pueden efectuar por ahora, solamente en elementos próximos a los radiactivos, es decir en elementos complejos, y que el fenómeno se reduce, bien a introducir un electrón, bien a abstraer un protón requiriendo para ello descargas de un voltaje elevadísimo.

Un caso que pudiéramos llamar de semitransmutación es el de la obtención de elementos activados, mediante el concurso de descargas oscuras a gran voltaje. Se han obtenido por este procedimiento átomos y moléculas activadas como H', H₂', H₃' y N₃', cuya activación o excitación no consiste, en fin de cuentas, más que en el desplazamiento de un electrón de una órbita a otra de energía superior, originado por excitaciones sucesivas producidas por los choques de los electrones de la descarga.

Por este desplazamiento, el sistema H adquiere una cierta polaridad, cargándose negativamente el electrón y positivamente el resto del átomo, y tiene tendencia a unirse consigo mismo y aún con electrones libres, en cuyo caso se constituye un elemento con dos electrones exteriores, de estructura análoga al átomo de He, siendo, como éste, inerte desde el punto de vista químico.

Por otra parte, Wendt y Landauer (1922) han obtenido una modificación activa del hidrógeno que sospechan sea el H₃, mediante el empleo de descargas silenciosas producidas a 22.000 voltios en un ozonizador Siemens a través del hidrógeno.

También las descargas por chispa o arco producen estas modificaciones en los elementos como el H, si bien en este caso pueden introducirse complicaciones, por elevación excesiva de temperatura, no pudiéndose dictaminar cuáles transformaciones serán de origen eléctrico y cuáles de origen térmico. Pero, como quiera que sea, se sabe que se forman fácilmente en estas descargas, el H activo (H') y los iones H⁺ y H₃⁺, en cantidades que dependen de las propie-

(1) Smits y Karssen.—Chem Abst. 1927.

dades catalíticas de las paredes del recipiente, y de la presencia del vapor de agua, según ha podido observar Wood. La vida de alguna de estas partículas es muy corta.

El nitrógeno y oxígeno experimentan análogas transformaciones por estos experimentos físicos; en el primero se observa una luminiscencia debida, según Rideal (1), a los choques de tres partículas para regenerar las moléculas de nitrógeno: $2 N_3 + N_2 \rightarrow 4 N_2 + h \nu$. Según Strut (hoy lord Rayleigh), que ha publicado unas cuantas memorias sobre este punto, es necesario admitir en el nitrógeno activo, una molécula metastable de N_2 , cuya estructura no se conoce aún.

Se sospechan también las formas activas del Cloro y del Bromo clorozono (Cl_3) y Bromozono (Br_3), en ciertas reacciones fotoquímicas sobre todo.

Como consecuencia de estos estudios sobre transformación de elementos podemos asegurar, que la transmutación ha de abrir un nuevo dominio, fecundísimo en investigaciones y ha de dar origen, sin duda alguna, a aplicaciones científicas e industriales, en cuanto consiga transformarse en un problema técnico.

El sueño de los Alquimistas, lleva trazas de realizarse. Pero no nos hagamos todavía muchas ilusiones, que el problema de hallar manantiales de energía suficientes para efectuar estas transformaciones en condiciones económicas, está aún muy lejos de ser resuelto. El oro que se puede obtener mediante los procedimientos de Nagaoka saldría a un precio elevadísimo.

Pero, si como dice Sody (2), «volvemos la vista hacia el pasado y contemplamos las maravillas efectuadas por la ciencia y los progresos constantes debidos a la potencia y fecundidad del método científico, no nos parecerá nada dudoso que llegue un día en que podamos dislocar y construir los elementos, como disociamos y combinamos los cuerpos compuestos». ¡Quién sabe si se ha de tardar muchos años en descubrir un nuevo origen de energía de potencia incomparablemente mayor que los que actualmente disponemos, y con el cual se aborde y encuentre solución económica al problema de las transmutaciones.

(1) Rideal.—Raport a l' Institut international de Chimie Solvay — 3^{em} Conseil, 1928.

(2) Sody.—Le Radium.

Los sensacionales descubrimientos de la radiactividad y los interesantísimos trabajos efectuados con las sustancias radiactivas, condujeron como de la mano a la noción de *isotopía*, que tanto había de revolucionar el concepto de elemento.

Se puede considerar, dice Sody (1), como una pobreza del razonamiento humano, el no haber llegado a demostrar la posibilidad de las existencias de isótopos, antes de su descubrimiento. Bien es verdad, que Prout los adivinaba con su hipótesis de la unidad de la materia, y Crookes, con su teoría de los meta-elementos, admitiendo átomos de diversa masa dentro de un mismo elemento, profetizaba su existencia; pero tanto uno como otro, tenían que ceder el paso a los hechos reales que vienen a ponerse enfrente de sus hipótesis: en efecto, la existencia de las masas atómicas fraccionarias para el primero y el desdoblamiento de la tierra rara Ythria en aquellos meta-elementos para el segundo, fueron obstáculos que se opusieron a sus ideas.

En rigor, el nombre de elementos isótopos, fué introducido en la Ciencia, según dijimos anteriormente, bastante tiempo después de su descubrimiento. Se les designaba como «elementos de caracteres idénticos no separables por medios químicos», pero, después de desarrollos teóricos que demostraron la asociación existente entre su carácter químico y el hecho de ocupar *un mismo lugar* en la Tabla periódica, Sody les asigna la denominación de isótopos.

Se puede considerar como punto de origen de estos nuevos conocimientos, el descubrimiento del Ionio por Boltwood en 1906, quien, le describe como análogo del Thorio, hasta el punto de no poderse separar ambos elementos por procedimientos químicos, cuando proceden de un mismo origen; todos los intentos de separación fueron inútiles.

Un año más tarde, descubre Sody la identidad química del Radio y Mesothorio y Boltwood emite la hipótesis de que el Plomo es el término final de la transformación del Ra.

(1) Sody Raport au Premier Conseil de Chimie Solvay. 1922.

Los descubrimientos de las leyes de transformación radiactiva de Sody, Fajans y Russell, sirvieron para ir colocando los 36 elementos radiactivos en la Tabla periódica, y entonces pudo observarse, cómo dentro de una misma casilla, tenían que cobijarse hasta más de cuatro elementos, distintos por sus caracteres radiactivos y pertenecientes a distintas familias, pero análogos desde el punto de vista de sus propiedades químicas, y poseyendo el mismo número atómico o de orden.

A la identidad química de estos elementos, que los hacía inseparables, viene a sumarse su identidad física, cuando, al estudiar sus espectros, no se observan diferencias sensibles. Esto hace sospechar a Russell y Rossi (1912) «en la posibilidad de que el Ionio y Thorio fuesen idénticos en todas sus propiedades físicas y químicas a excepción del peso atómico y de las propiedades radiactivas y que si esta explicación era eventualmente justificada, el espectro de los dos elementos sería idéntico» (1).

Estas ideas, tímidamente lanzadas y sostenidas enseguida por Sody, adquieren un notable impulso con la introducción en la Ciencia, de la teoría del núcleo atómico de Rutherford, con la cual se consigue dar la primera interpretación física de la identidad química y espectroscópica de los isótopos; son distintas las masas atómicas de ellos, pero tienen una misma carga nuclear, siendo ésta la que, en definitiva, rige a ambas propiedades.

No había ningún fundamento, para que este estado de cosas se dejara de presentar en otros lugares de la Tabla periódica que los correspondientes a las sustancias radiactivas, aunque se pusiera como argumento la constancia del peso atómico de los cuerpos simples no radiactivos. En el caso de las sustancias radiactivas era fácil explicar el origen de los isótopos; basta, en efecto, que un elemento pierda una partícula α (pérdida de 4 unidades en su masa atómica y retroceso de dos lugares en la Tabla), seguida después de pérdida sucesiva de dos partículas β (avance de dos lugares sin variación sensible en la masa), para que se obtuviera un elemento que ocupa el mismo lugar en la Tabla periódica, si bien su masa atómica es 4 unidades menor.

El primer paso para llegar a la generalización de isotopía, o que al menos hizo pensar en que esta propiedad fuese general, fué el estudio que se hizo del Plomo. Por la particularidad de presentarse este metal en casi todos los minerales radiactivos, sospecharon los químicos que fuera, juntamente con el Helio, el último término de su desintegración. Y efectivamente, los hechos confirman las hipótesis, cuando se consigue hallar, como peso atómico de un Plomo procedente de un mineral de Uranio, el número 206,06 (Lembert, Hönigschmid y Richards) muy próximo al número 206 que resulta por el cálculo, suponiéndole

(1) Aston.—Les Isotopes, pág. 11.

procedente de la desintegración de Uranio y más tarde (1914) cuando, por Sody e Hyman, se analiza el plomo de una Thorita de Ceylan que dá un número 207,77, muy próximo al teórico 208 que resulta calculándolo como procedente de la desintegración del Thorio.

Deben existir, por lo menos, dos isótopos de plomo de pesos atómicos 206 y 208; y el procedente de la galena o plomo ordinario, cuyas determinaciones más exactas le atribuyen una masa atómica 207,2 será, según todas las probabilidades, una mezcla, en proporciones constantes, de esos dos isótopos (1).

Este descubrimiento, así como el de la desigualdad de los pesos atómicos del Thorio y Thorio-Ionio, análogos químicamente, que nos muestran a un elemento como compuesto de dos isótopos de masas atómicas enteras y diferentes y esencialmente semejantes, iluminan el oscuro problema de los pesos atómicos fraccionarios.

Se piensa, si esta misma complejidad existente en las sustancias radiactivas y en el Plomo procedente de ellas, podría también presentarse en otros elementos de pesos atómicos fraccionarios. ¿No podría explicarse el peso atómico del Cloro (35,46) suponiéndole constituido por una mezcla de dos isótopos en proporciones constantes?

Antes de que fueran descubiertos los isótopos del Plomo, J. J. Thomson sugiere en 1912 un camino, el del estudio de los rayos positivos con su método de análisis de la parábola, que le permite diferenciar en uno de los gases más raros ($\text{Ne} = 20,20$) dos rayas correspondientes a masas 20 y 32, las que en un principio cree corresponden al átomo de Ne y a un hidruro NeH_2 ; pero, después de cuidadosa repetición de la experiencia, se convence que no puede corresponder a molécula gaseosa de ningún compuesto de esos elementos. «Es preciso, dice Aston, admitir la hipótesis revolucionaria de que el Ne podía existir bajo dos formas y que la relación entre éstas, era precisamente la que Sody, poco antes, había establecido en el caso de los radioelementos químicamente inseparables» (2).

Al objeto de aclarar esta cuestión, emprende, este eminente sabio, una serie de trabajos encaminados: 1.º a efectuar la separación de los dos componentes del Ne por procedimientos físicos, y 2.º a examinar este gas a los rayos positivos.

Los ensayos efectuados, por los métodos de las densidades y de destilación fraccionada, no le dieron el resultado que anhelaba; observó efectivamente, ciertas pequeñas diferencias, pero como quiera que al repetir las experiencias no las

(1) Aston, en un trabajo reciente, observa, mediante su espectrógrafo de masa, tres rayas principales correspondientes a partículas de masas 206, 207 y 208, y tres líneas débiles que corresponden a 203, 204 y 205.

(2) Aston.—Les isotopes. Trad. Mlle Veil, pág. 39.

observara claramente, dejó este camino, para seguir ya en 1919, el segundo indicado.

El espectrógrafo de masa, modificación muy notable del aparato de Thomson, le permite demostrar, sin género alguno de dudas, que el Ne está formado por dos isótopos de masas 20 y 22. El fundamento de este aparato es el siguiente: Un gas muy rarificado se electriza positivamente en el ánodo de un tubo de descarga o ampolla de rayos X. Los átomos de este gas, positivamente cargados, pasan a través del cátodo que tiene una hendidura estrecha, y después por otras dos hendiduras paralelas, sumamente finas, de manera que formen un haz estrecho de partículas electrizadas, animadas de un movimiento rápido. El haz pasa después por entre dos platillos cargados eléctricamente a una tensión de 200 a 500 voltios y orientados oblicuamente respecto a la dirección de los rayos; en este campo electrostático sufren las partículas cargadas, una desviación tanto más intensa cuanto que la velocidad y el peso de ellas sean más débiles. Este haz, deformado en abanico por este procedimiento, es desviado en sentido contrario por un potente electro-imán, que elimina las diferencias de velocidad y concentra en un mismo punto todas las partículas de igual masa. Las líneas resultantes son recogidas sobre una placa fotográfica, obteniéndose una imagen en que cada línea corresponde a partículas de distinta masa; conociendo las trazas producidas por elementos de masa atómica bien determinada se puede obtener una escala calibrada que permite llegar a deducir las masas de elementos desconocidos, por la posición de las trazas fotográficas por ellos producidas. También se suele utilizar un punto de referencia «*Spot repère*» y mediante un cálculo sencillísimo, que establece la relación entre la masa y las distancias de las trazas a este punto, se llega a calcular las masas de los elementos. Por este método pudo demostrar Aston, mediante un análisis atento de las fotografías obtenidas, que muchos de los elementos son mezclas de dos o más isótopos y que precisamente aquellos elementos cuyos pesos atómicos son números enteros o muy próximas a estos, sólo están formados por partículas de una misma masa.

En sus primeros trabajos demuestra, que el Cloro por nosotros conocido es una mezcla de dos isótopos de masas 35 y 37 (1); El Litio está formado por otros dos, Li_6 y Li_7 ; el Neo por dos también, Ne_{20} y Ne_{22} . El Cinc que conocemos, lo integran 4 isótopos; el Kriptón tiene 8 isótopos y el Xenó 9 etc., etc.

Hace diez años que Aston dió a conocer sus primeros trabajos sobre la determinación de pesos atómicos mediante el espectrógrafo de masas y en este corto espacio de tiempo, las investigaciones se han sucedido en su laboratorio,

(1) Se suelen representar los isótopos afectando al símbolo de un subíndice que indique su masa: Cl_{35} , Cl_{37} .

con una tenacidad sin límites. Resultado de esta labor inmensa es el estudio cuidadoso de más de 50 elementos habiéndose encontrado, que 30 de ellos, aproximadamente, son pléyades de isótopos, algunos, como el estaño, tan complejos, que presentan 11 isótopos; la mayor parte están constituidos por 2 ó 3.

Hasta el presente, son unos 150 los encontrados, sin contar los isótopos radiactivos presumiendo Harkins (1) que llegarán a encontrarse 300 elementos distintos agrupados en las 92 casillas de la Tabla periódica.

La isotopía progresó extraordinariamente desde que se pudo aplicar a los metales poco volátiles el método de Aston. Para ello se recurrió a un procedimiento dado a conocer por Gehrcke y Reichenheim en 1906, consistente en un ánodo caliente cubierto con una película de la sal metálica a estudiar, que fué ligeramente modificado por Dempster en 1918 de una manera originalísima, vaporizando primeramente el metal e ionizándolo después por bombardeo de electrones. Con estas modificaciones, se logran resultados magníficos en la separación de los tres isótopos del magnesio, se confirman los del Litio y se determinan los del Cinc y Calcio, haciéndose un método general para todos los metales.

Cuando los trabajos de Aston llegan a hacerse públicos, los químicos se dedican con afán a trabajos de separación de isótopos, con el fin de demostrar la realidad de lo que el tubo de descarga revela.

Se sabe que la isotopía atañe al núcleo del átomo y se buscan procedimientos fundados en propiedades que se relacionan directamente con la masa de los elementos.

Mucho se había hablado de la inseparabilidad de los isótopos, atribuyéndoles idénticas propiedades físicas y químicas, pero es necesario convencerse de esto. El éxito sería rotundo, si del Plomo ordinario o del Cloro se llegaran a separar cantidades apreciables de sus isótopos. Esto no debe ser cosa más que del tiempo y del trabajo continuado de los hombres de ciencia.

Ya indicamos el primer ensayo de separación, debido al tantas veces nombrado Aston, basado en el distinto poder de difusión de los dos isótopos del Ne. Fajans (2), después, (1916), considerando que la solubilidad molecular de los isótopos de un elemento es distinta, estudia las densidades de las soluciones equimoleculares de los nitratos de plomo ordinario y de plomo uranífero, observando diferencias muy netas que no se pueden atribuir a errores experimentales. La señorita I. Curie (3), trata de ver si existen diferencias entre el cloro de origen marino y el de origen filoniano, no acusando variación alguna.

Las determinaciones de Harkins y Brocker (4), basadas en la velocidad de

(1) Harkins.—Am. Chem. Soc. 42-1946 (1920).

(2) Fajans Fischer.—Bull. Soc. Chi. 26-89 1919.

(3) Sta. I. Curie.—C. R. 172-1025-(1921).

(4) Harkins.—A. Chem. Soc. 42-1956 (1920).

difusión del HCl a través de porcelana porosa, que les permiten obtener 5 gramos de Cloro con un peso atómico 0,058 unidades superior al ordinario; las de Harkins y Jenkins (1), separando Cloro de peso atómico, 0,039 unidades inferior al natural; la de King (2) consiguiendo una separación parcial de los isótopos del Mercurio, por métodos químicos; las de Brosted-Hevesy y Mulliken-Harkins, obteniendo diferencias en los pesos atómicos del Mercurio por evaporación de este elemento a baja presión, demuestran que se va rápidamente hacia la solución de este problema y que ha de llegar el día, en que se han de poder estudiar las características de cada uno de estos isótopos (3).

El resultado más importante que se deriva de estos trabajos, es el hecho de que, a excepción del Hidrógeno, los pesos atómicos de todos los elementos son números enteros con una aproximación de $1/10000$ referidos a $0 = 16$.

Vuelve con ello la hipótesis de Prout y se prueba que los átomos de todos los elementos están contruidos por los mismos materiales elementales (protones y electrones) pues, si como pretenden Paneth y Peters han logrado la transmutación de H en He, ya no se puede considerar a este último como unidad elemental del núcleo atómico.

La existencia de los pesos atómicos fraccionarios, queda perfectamente explicada por las pléyades de isótopos, mucho mejor de lo que Prout hubiera podido soñar. La concordancia entre los resultados de la espectrografía de masa interpretados de esta manera, y los datos que suministran los más avezados especialistas en determinaciones de pesos atómicos, es absoluta. Así, el Glucinio, se sospechaba que estuviera formado por dos isótopos, porque su peso atómico era 9,1 pero Aston no encuentra más que una partícula de masa 9. Efectivamente las determinaciones recientes de Hönigschmid, dan para valor del peso atómico de este elemento 9,02 lo que corresponde a un solo isótopo. Las observaciones a los rayos positivos sirven, por tanto, para llamar la atención a los químicos sobre ciertos pesos atómicos no bien determinados. Otro ejemplo es el del Si, al que se le asignaba un peso atómico de 28,03, y al llamar la atención Aston, sobre ciertas irregularidades por él observadas, que le hacían sospechar no era este el número verdadero, se efectuaron nuevas determinaciones que dieron por resultado 28,06.

De las excepciones a la ley de los números enteros, la más interesante es la presentada por el Hidrógeno (1,008). ¿Cómo entonces se podrán suponer a los demás elementos formados por condensación de este? Si el Hidrógeno tiene una masa igual a 1,008, reuniéndose 4 H resultaría un átomo de Helio igual a 4,032.

(1) Harkins-Jenkins-Am. Chem. Soc. 48-58 (1926).

(2) King Am. Chem. Soc. 49-1500 (1927).

(3) Léase, para separación de isótopos, la comunicación de Perrin y Urbain al Consejo de Química Soivay.

Pero ya hemos dicho que hay pérdida de masa por el llamado «packing effect», explicable por la teoría de la relatividad restringida de Einstein, para constituirse núcleos He o núcleos H_3 . Esta pérdida de masa, que corresponde a la unión de protones con electrones para formar los núcleos, ha sido determinada exactamente mediante un espectrógrafo de masas muy perfeccionado. Aston lo representa por un valor, al que denomina «packing fraction», y que Cabrera traduce por «índice de ligadura» (1), observándose una ley perfectamente definida entre estos valores y los pesos atómicos respectivos, ley que se puede representar por una curva, tomando como abscisas los pesos atómicos y como ordenadas los índices de ligadura.

Del estudio de esta curva se deduce que, hasta el elemento de masa atómica 60, se producen los núcleos a partir de protones y electrones con pérdida de energía o sea con aumento de estabilidad, mientras que por encima de esa masa, la pérdida de energía disminuye, y, por tanto, su estabilidad se hace menor. Otra particularidad presenta esta curva y es, una bifurcación en los términos anteriores al de masa 60, que explica, en cierto modo, la hipótesis de Harkins sobre la abundancia relativa de los elementos de peso atómico par (2) sobre la corteza terrestre.

Por lo que llevamos dicho se vé que la noción de isotopía introduce, simultáneamente, una simplificación y una complicación en el concepto que se tenía del elemento químico. Por un lado se consigue agrupar los, aproximadamente, 40 elementos radiactivos, en 10 elementos químicamente idénticos, pero por otro se revela que, aquellos elementos que hasta ahora habíamos creído irreductibles e indivisibles, son sistemas complejos que manifiestan una heterogeneidad insospechada.

Es cierto que la existencia de variedades alotrópicas de un mismo elemento y la de los iones y elementos activados, nos ponen de manifiesto una especie de heterogeneidad en los cuerpos llamados simples, pero, téngase en cuenta que, al fin y al cabo, todas estas modificaciones no son sino formas energéticas de un mismo elemento, sin que estas variaciones traigan aparejadas cambio alguno en la masa del átomo.

¿Cómo podremos dar cabida a las pléyades de isótopos dentro de la definición de Lavoissier y cómo dentro de la de Gramont?

Si el elemento es la sustancia primordial a la que se llega mediante el análisis, y que ningún medio puede desdoblarse en otras sustancias más sencillas, ¿podremos considerar, en este sentido, a esta pléyade como elemento?

Si los elementos quedan definidos, por una masa atómica constante y por

(1) An. Soc. Esp. Mayo 1928, 193, T. 26, pág. 193 (1928).

(2) Los más estables.

un espectro óptico definido, ¿podremos considerar como tales, a sustancias que presentan variaciones sensibles en su masa y en su espectro?

Los físicos más caracterizados en esta clase de estudios (Sody y Aston) nos aseguran que la palabra elemento se halla íntimamente asociada al número atómico de Moseley o carga nuclear, basándose, para sostener esta tesis, en que las propiedades químicas de los elementos no dependen de la masa de los mismos sino de la disposición de los electrones en torno del núcleo, siendo ésta a su vez, dependiente de la carga positiva libre o número atómico.

Considerada desde este punto de vista, las pléyades no son para ellos mezclas, sino elementos mismos, puesto que no se pueden resolver en sus constituyentes; para distinguirlos de los otros elementos sencillos proponen que se dé otro nombre a estas pléyades.

Los diferentes constituyentes del Cloro natural, serían llamados isótopos del mismo elemento Cloro (Cl_{35} , Cl_{37}).

Esta tendencia de los físicos se manifiesta claramente en las discusiones promovidas a consecuencia de sendas comunicaciones presentadas al primer Congreso de Química del Instituto Solvay (1922) por Sody y Aston. Es precisamente en este Congreso en donde su presidente Pope, plantea la necesidad ineludible de fijar definitivamente la noción de elemento, dando una definición clara y terminante; y propone agrupar bajo el mismo elemento los átomos que tienen la misma masa, el mismo número atómico y la misma construcción nuclear. Aquellos elementos que tuvieran pesos atómicos diferentes y el mismo número atómico, se llamarían isótopos; y entre estos isótopos se distinguirían los isómeros cuando tuvieran igual peso atómico aunque diferente construcción nuclear.

Esta proposición dá lugar a un movido debate en el que Sody pregunta si vale la pena de cambiar la lista de los elementos, limitándola solamente para aquellos en que se ha probado no constituyen mezclas de isótopos; opina que el incluir o no estas pléyades en el número de los elementos, no es más que una cuestión de palabras.

Por el contrario los químicos, acaudillados por Urbain, considerando esta cuestión de extraordinario interés para la Química, piensan que es preciso hallar una definición, la más estable posible, basándola en propiedades que tengan un carácter «elemental», porque, si se elige para definirlo el número atómico, se considera como elemento a un grupo de especies, en vez de una especie sola. Es preciso que esta definición no oscile con las especulaciones teóricas, pues ella perdería todo su valor cuando las teorías en que está fundada fueran abandonadas.

Es decir, que la definición de los físicos morirá en el momento en que se llegue a resolver estas mezclas de isótopos; hemos de pensar que el tiempo y la perseverancia de los investigadores han de llegar a resolver estos complejos.

Téngase presente el ejemplo que la historia nos presenta en las tierras raras, que se creían constituidas por un solo elemento, y recuérdese cómo fueron resolviéndose poco a poco, por procedimientos químicos, merced al esfuerzo tenaz de los hombres de Ciencia y al perfeccionamiento de los métodos de trabajo.

Lo que inquieta a los químicos es, que la idea de elemento implica homogeneidad, y con la definición de Aston, sostenida por casi todos los físicos, comprendería también la de grupo heterogéneo.

Así, cuando se hablara de Cloro pensaríamos en la mezcla natural de los dos cloros Cl_{35} y Cl_{37} . Pero, ¿cómo los designaríamos si, por un medio artificial, se llegara a preparar una mezcla de estos dos isótopos en distintas proporciones que la que nos ofrece la Naturaleza? ¿Tendría esa mezcla las mismas propiedades físicas y químicas del elemento Cloro natural? Claro que no.

Por esto Fajans no considera justificado el considerar al conjunto de los isótopos de un elemento, como un sólo elemento ni aún como especies de un mismo elemento, puesto que la diferente masa atómica que poseen les hace acreedores a considerarlos como elementos diferentes, aun cuando para ello fuera necesario crear un nombre para la asociación, el de *tipo elemental*, por ejemplo.

Es tal la confusión que el descubrimiento de los isótopos ha creado, que hay quien propone suprimir la palabra elemento, excepto para el protón (1) y reemplazarla por un término tal como primario «primary» (Amstrong) y hay otros como Pope que, reprobando la manera de pensar de los físicos en cuanto a la inseparabilidad de los isótopos, propone afectar de letras griegas los diferentes isótopos de un elemento Cloro (Cl_{α} y Cl_{β}).

Por todo ello, la Comisión Internacional de los Elementos Químicos, reunida en París en 1923, bajo la presidencia de Urbain, teniendo en cuenta la posible separación de los isótopos de los elementos corrientes y, sobre todo, la existencia real de los isótopos radiactivos procedentes de distintos orígenes, dá, a *título provisional*, una definición de elemento diciendo: *Que un número atómico, es necesario y suficiente para definir un elemento químico.*

Son, según esto, 92 los elementos químicos, puesto que se consideran a las pléyades de isótopo como elementos; distinguen, para diferenciar, los *elementos químicos simples* y los *elementos compuestos*.

No todos los miembros de esta Comisión comparten la opinión resultante

(1) Tampoco se puede considerar a protones y electrones como los dos componentes primordiales, después de las nuevas doctrinas de De Broglie y Schrödinger, que con su teoría *micromecánica*, niegan la existencia de electrones, al menos bajo la forma imaginada hasta aquí, considerándolos como nudos de conjuntos de ondas; es decir que nos los representan como algo inmaterial.

de sus deliberaciones, pues el mismo Urbain, aun considerando que dicha definición presenta indudables ventajas prácticas, comprende que el sentido filosófico de la palabra elemento no queda satisfecho, puesto que éste representa siempre irreductibilidad (1).

Se puede decir, que mientras las pléyades isotópicas resistan al análisis, será valedera la definición dada por la Comisión Internacional, si bien los trabajos encaminados en este sentido auguran resultados positivos que no dejarán prevalecer durante mucho tiempo este modo de ver.

(1) Urbain.—Les notions fondamentales d'element chimique et d'atome (1925).

Y voy a terminar. Permitídmme que lo haga felicitando primeramente, en nombre de esta Universidad, a aquellos alumnos que, durante al pasado curso, se hicieron acreedores por su laboriosidad e inteligencia a las recompensas que van a recibir de manos de nuestra primera autoridad y que dirija después un saludo a todos vosotros, maestros y discípulos; que vais los unos, con una vocación tan justamente alabada como pobremente retribuida, a comenzar vuestra nobilísima tarea de enseñar, y venís los otros, con el corazón henchido de ilusiones, a adquirir los conocimientos que os han de señalar y abrir los caminos de vuestra vida.

Abramos pues, el paso hacia el porvenir a estas nuevas generaciones que, con el brío propio de sus años mozos, vienen animosos a cobijarse bajo el templo de la Ciencia expandiendo, por su ambiente rarificado, aires de renovación y un optimismo sano y fuerte. Guiemos sus inteligencias fácilmente moldeables, con paso seguro y firme, por los senderos del Bien y de la Verdad, sin preocuparnos seriamente de las actitudes rebeldes que alguna vez parezcan adoptar, pues estamos bien convencidos de que la rebeldía en ellos no tiene frecuentemente otro origen y fundamento que la natural efervescencia de su sangre moza.

De mí sé deciros que, prefiero el carácter inquieto y bullicioso de los temperamentos fuertes y sinceros, al plástico y adaptable a todos los vientos de los logreros y vividores.

Yo sé que a todos les anima el mejor deseo de aprender vuestras sabias lecciones y escuchar vuestros afinados consejos.

Ejercemos, por tanto, nuestra misión delicada, tendiéndoles la mano amorosamente, para conducirlos, como padres cariñosos, por los ásperos senderos de la ciencia. Seámos, en fin, verdaderos representantes del «Alma Mater», con la fé siempre viva en el porvenir de una España culta, sobre todo culta, que supere los gloriosos días de nuestro pasado intelectual.

HE DICHO.