

FISICOQUIMICA ATOMICA

DISQUISICIONES DE CARACTER GENERAL A TENER EN CUENTA POR AQUELLOS QUE PRETENDAN EFECTUAR ESTUDIOS A FONDO

Por ANTONIO LOPEZ FRANCO, Ingeniero de Caminos.

Se hacen en el presente artículo muy atinadas consideraciones sobre el afán que por conocer la Físicoquímica atómica se ha desarrollado en nuestros días, y se señalan muy interesantes advertencias a los que pretendan estudiar a fondo el asunto, evitando así el fracaso por falta de preparación.

La reciente y trágica aparición de la llamada bomba atómica, de efectos y alcances insospechados, cuya trascendencia, posibles consecuencias y aplicaciones han despertado tan gran interés y curiosidad que están llevando a mucha gente a efectuar estudios e investigaciones sobre su teoría y funcionamiento, y al pretender profundizar en ellos se encuentran frente a una serie de nuevos conceptos y disciplinas, que no obstante estar dadas a conocer, en gran parte, desde hace bastantes años, han constituido una sorpresa para muchos, los cuales no siempre bien preparados, pretenden asimilarlos rápidamente, confiados y favorecidos por una abundante literatura, que de algún tiempo a esta parte se viene desarrollando, procedente de la mayor parte de traducciones demasiado literarias, en las que pretenden hacer divulgaciones que no encajan dentro de la complejidad de las materias a tratar, muchas veces con la pretensión de prescindir o reducir a un mínimo los procesos matemáticos, cuando precisamente casi siempre se llega a conceptos físicos que solamente en el lenguaje matemático son susceptibles de expresión. En el año 1940 escribí un artículo en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS sobre las matemáticas y su enseñanza, en el que refiriéndome a estas modernas teorías, que han conducido a concepciones del Universo completamente nuevas, hacía ver son esencialmente matemáticas, señalándose en ellas el principio de no admitir más explicaciones o aclaraciones, de carácter material, que las que estén plenamente demostradas por hechos reales o sean consecuencias de procesos de cálculo, lo cual no quiere decir que la moderna ciencia de la Físicoquímica tenga exclusivamente un carácter teórico, sino al contrario, estamos viendo y no hemos dado de ver, desde antes de aquella fecha, el que cada vez es mayor el campo de sus aplicaciones, y señalábamos también la tendencia a dar a las nuevas concepciones físicas un carácter marcadamente estadístico.

Nuestra generación realizó y terminó sus estudios basándose en los entonces inmutables principios

de conservación y en el concepto de átomo indivisible, límite mínimo de la cantidad de materia que podíamos concebir; estudiamos también la Termodinámica clásica, de Clausius y Carnot, con sus ciclos y diagramas, manejando en los cálculos la misteriosa entropía, factor intensivo de la energía calorífica, todo ello a través de racionales desarrollos matemáticos, pero que no nos dejaban muy satisfechos en cuanto a la realidad física, ¡qué sorpresa nos hubiera entonces causado si nos hubieran dicho que la entropía era el logaritmo de una probabilidad!

Con la base del conocimiento firme de esta ciencia clásica y algo de afición a los procesos matemáticos, no resulta difícil la comprensión y asimilación de las múltiples novedades habidas en el tiempo transcurrido, con las que se ha llegado no sólo a poner en tela de juicio, sino hasta negar la veracidad de aquellos principios. Basta para ello el realizar una serie de estudios ordenados, evitando precipitaciones que conduzcan a confusionismos, y con esto nos referimos exclusivamente a las generaciones ya formadas científicamente con anterioridad, pues hoy día se desarrollan sus enseñanzas en forma adecuada con la debida tasa y medida que en cada caso se necesita, para ir las diluyendo y situando en los lugares correspondientes dentro de los programas respectivos.

Cuando en el año 1923 tuve que encargarme de la clase de Química en nuestra Escuela, ya eran corrientes los conocimientos teóricos y aplicaciones de los rayos X y fenómenos radiactivos, de cuya técnica, empleada principalmente como medio de investigación, se venía haciendo uso en muchos laboratorios, y ya habían derivado en el descubrimiento inicial de la constitución del átomo, cuyos resultados me creí en el caso de llevarlos a conocimiento de los alumnos, si bien reduciéndolo a una exposición sintética que no desviara por otros derroteros los objetivos básicos de la asignatura, no pudiendo, sin embargo, evitar las alusiones a varios temas ajenos, pero muy relacionados con la cuestión y que sobre algunos de ellos, como el de la Relatividad, que junto con

la Radiactividad figuraba también en los programas se habían dado algunas conferencias especiales en la Escuela.

Los primeros resultados de las exploraciones fué el poner de manifiesto el que la masa del átomo se hallaba concentrada en el centro del mismo, reducida a un volumen pequeñísimo, que comparado con el total del átomo viene a ser como el de una manzana en relación con el de la Tierra, constituyendo esta masa concentrada el llamado *núcleo*, que al tratar de investigar sobre el mismo nos encontramos con la existencia, en el espacio vacío desde la superficie del átomo, de multitud de obstáculos de carácter inmaterial, pero que representan acumulaciones de importantes cantidades de energía que se oponen eficazmente a la penetración en el interior. Se descubrió desde el principio la presencia en el referido espacio de los corpúsculos llamados electrones, de masa insignificante, pero para todos la misma (10^{-28} gramos), cargados con un mínimo de electricidad negativa ($1,59 \times 10^{-10}$ culombios), ya conocidos y estudiados con anterioridad en otros ambientes, bien sea aislados o constituyendo atmósferas o enjambres en los espacios intermoleculares o formando flujos penetrantes; su número, dentro de los átomos, es variable, desde uno en el hidrógeno hasta 96 en el Curio, representando la característica del elemento, denominada *número atómico*, que en la química moderna sustituye al clásico *peso atómico*, y su ordenación correlativa representa la conocida serie periódica de Mendeleieff; estos electrones giran alrededor del núcleo describiendo órbitas circulares (Bohr) o elípticas (Sommerfeld), y tanto el número de electrones como su distribución en las órbitas está íntimamente relacionado con el comportamiento químico del elemento en cuestión, ante el cual el misterioso núcleo se presenta indiferente; aunque Rutherford asimiló este conjunto a un diminuto sistema planetario, resulta una comparación ingenua, que tuvo bastante éxito en la divulgación, pero las diferencias son mucho más profundas que las de una variación de escalas.

La teoría de los *cuanta*, establecida por Planck al finalizarse el siglo XIX para explicar racionalmente las contradicciones observadas entre la teoría y los hechos en los estudios sobre las radiaciones del cuerpo negro, establece que la energía es absorbida o emitida siempre mediante diferencias finitas denominadas *cuantos*, cuyo valor es proporcional a la frecuencia multiplicada por la llamada constante de Planck (5×10^{-12} ergios para la luz violeta y 2×10^{-6} para la roja), fué aplicada por Niels H. Bohr a la mecánica de la constitución del átomo, estableciendo que las órbitas que describen los electrones representan una serie de niveles energéticos a modo de superficies equipotenciales que varían por cuantos a partir de la órbita de radio menor; los electrones, en circunstancias normales, se mueven cada uno dentro de

su órbita, pudiendo ocurrir el que en circunstancias dadas pasen de una a otra, pero nunca se da el caso de que ocupen posiciones intermedias.

Cuando en el átomo tiene lugar una absorción de energía, los electrones saltan de las órbitas de radios menores a las mayores, siendo las diferencias de potencial salvadas proporcionales a la energía absorbida, y cuando cesa la absorción las cosas tienden a volver a su estado normal, los electrones descienden a los niveles inferiores y entonces el átomo irradia la energía que antes había captado.

No obstante, sólo se ha efectuado un estudio racional aceptable con el átomo de hidrógeno, que contiene un sólo electrón, pero ni siquiera ha podido conseguirse con su inmiato en la serie, el helio, que tiene dos; como quiera que las velocidades que llevan los electrones son enormes, fuera de los límites que estamos acostumbrados a manejar, resulta que, a pesar de la pequeñez de la masa las fuerzas vivas desarrolladas son de excepcional magnitud y no son aplicables los cálculos corrientes de la mecánica clásica, precisase acudir a la relativista; la masa del electrón, o mejor dicho la relación $\frac{F}{J}$, fuerza partida por ace-

leración, deja de ser constante y crece visiblemente con la velocidad, los procesos matemáticos son mucho más complicados, dados los nuevos conceptos a manejar, tales como masa en reposo, masa de inercia, etcétera, y, principalmente, la intervención del invariante c , con que se designa a la velocidad de la luz, límite de las velocidades concebibles, de tal modo que si hacemos entrar en las fórmulas valores mayores resultan masas imaginarias.

Con esto se originan contradicciones, quizás más aparentes que verdaderas, entre concepciones abstractas y realidades que nos demuestran habernos introducido en campos de investigación incompatibles con nuestros medios de conocimiento; no nos atrevemos a afirmar que no puedan existir velocidades mayores que la de la luz, pero sí podemos asegurar que si existen somos incapaces de medirlas; otro tanto ocurre con el concepto de masa, definido en la mecánica clásica como la cantidad de materia que contiene un cuerpo, cifra que debe ser fundamentalmente constante, y quizás así sea la realidad, pero no tenemos medio para comprobarlo y la métrica nos acusa números variables; aun es más desconcertante el llamado principio de indeterminación de Heinsenberg.

Las partículas materiales más pequeñas, susceptibles de ser distinguidas por nuestra vista, son las micelas; por medio de iluminación lateral en el ultramicroscopio, los rayos de luz al chocar con ellas proyectan pequeños conos de difracción que se destacan sobre un fondo oscuro en forma de puntos luminosos, pudiéndose en cualquier instante determinar su posición midiendo las coordenadas y a la vez hacer determinaciones de tiempo para hallar sus ve-

locidades. Si en lugar de micelas se trata de electrones, el procedimiento teórico es el mismo, pero con las complicaciones que representa la sustitución de los rayos luminosos, demasiado burdos, por otros más finos, rayos X o gamma, para los cuales somos ciegos; es preciso sustituir la pantalla directamente observable del ultramicroscopio por una película sensible, cuyo revelado nos deberá mostrar los puntos correspondientes a los electrones; pero en lugar de puntos nos encontraremos con círculos de bordes desvañecidos, debido a efectos de difracción que sólo de un modo aproximado nos indican la posición del electrón. Pero, además, el choque del rayo (del fotón, del que hablaremos más tarde) con el electrón, dada la pequeña masa de éste y la gran energía de aquél, le desvía de su trayectoria, lo que impide hacer determinaciones exactas de la velocidad que llevaba; claro es que utilizando radiaciones de pequeña frecuencia, como su energía es menor, se aminorará este efecto, pero entonces las difracciones son mayores y el círculo dentro del cual está la imagen del electrón aumenta, y por tanto el error para fijar su posición será mayor; resulta, pues, que en ambas determinaciones se cometen errores, que si los designamos por Δx y Δp , respectivamente, Heisenberg y Born establecieron la llamada relación de indeterminación mediante la fórmula:

$$\Delta x \times \Delta p \geq h;$$

siendo h la constante de Planck.

Esto nos impide, naturalmente, estudiar la trayectoria del electrón, pues aunque pudiéramos plantear las ecuaciones diferenciales del movimiento, nos faltarían siempre las constantes iniciales necesarias para la completa integración de las mismas; por tanto, sólo podemos determinar el proceso sobre la base de probabilidades; pero la complicación es mayor aún, pues muchos afirman que la indeterminación indicada no sólo es consecuencia de haber llegado al límite de nuestras facultades perceptivas, sino que responde a la existencia de una realidad objetiva muy difícil de conocer (1).

Como consecuencia de las teorías expuestas, Einstein hizo surgir otro nuevo concepto, el de *fotón*, *quantum* de energía radiante, que corresponde a la emitida por un átomo al pasar un electrón de un nivel al inmediato inferior; esto pone de manifiesto la naturaleza corpuscular de las radiaciones electromagnéticas, puesto que la energía de éstas (entre ellas la de la luz) ha de ser un múltiplo entero de este *quantum* de luz; concepto que casi nos hace volver a la antigua teoría emisiva de Newton, pero como por otra

parte no se puede negar su naturaleza ondulatoria, con lo cual se han explicado tantos fenómenos, resulta que nos hallamos frente a una de las contradicciones a que antes nos referíamos; después de muchas discusiones, principalmente para el caso concreto de la luz, y ante la imposibilidad de explicar algunos hechos por la teoría ondulatoria, se adoptó como solución la posibilidad de la convivencia de los fotones y las ondas, y sobre esta afirmación se establecieron casi simultáneamente la teoría ondulatoria de Broglie y Schrodinger (1924) (1) y la cuántica de Heisenberg y Born, coincidentes en los conceptos fundamentales, pero sin que ninguna de las dos resuelva plenamente muchas de las cuestiones planteadas.

Resulta de todo ello el que la energía, E , acumulada en un cuerpo tiene doble expresión:

$$E = m c^2 = h \nu,$$

y algunos procesos, tales como los movimientos materiales, se conciben perfectamente con la primera fórmula, quedando derogada prácticamente la segunda, mientras que en otros (radiaciones) es precisamente ésta la que explica satisfactoriamente los fenómenos; en los movimientos de los electrones es donde son prácticamente aplicables, según los casos, las dos fórmulas.

Esta convivencia simultánea del corpúsculo y la onda se ha generalizado a toda clase de partículas materiales lo suficientemente pequeñas, como los electrones, y, en efecto, los experimentos de Davisson y Germer en América y de Thompson Aberdeen y Rupp en Alemania, demostraron cómo los electrones son difractados al atravesar delgadas láminas metálicas, lo mismo que los rayos X.

Quedó, sin embargo, por determinar cuál era el significado físico de esa onda, que asociada a las partículas se rige por las leyes de la Óptica física. Desechadas las primeras hipótesis de Schrodinger, de que el corpúsculo esté formado por una superposición de ondas, por un paquete de ondas, o de que fuera una singularidad del fenómeno ondulatorio, hoy día existe la tendencia a suponer que la onda no representa, en modo alguno, un fenómeno físico, sino que es una simple representación simbólica de lo que sabemos sobre la marcha del corpúsculo; donde su amplitud es mayor, allí es donde existe una mayor probabilidad de encontrar al electrón o al fotón. Cuando los electrones atraviesan la delgada lámina metálica, no es que se transformen en ondas, sino que abandonan su trayectoria rectilínea y se concentran, existiendo más probabilidad de encontrarlos en aquellos puntos donde se suman las amplitudes de sus hipotéticas ondas asociadas.

(1) Conferencias dadas en la Facultad de Filosofía del Colegio de Pignatelli, de Bélgica, por J. A. Pérez del Pulgar y Joaquín Orland, durante el curso de 1934-35.

(1) L. de Broglie: *Materia y Luz*.

En la representación de la estructura atómica hay que sustituir las antiguas órbitas electrónicas por ondas estacionarias, en las cuales las zonas de mayor amplitud de vibración, en las que la probabilidad de encontrar al electrón es mayor, coinciden exactamente con aquéllas, pero no son prohibitivas para los electrones las zonas intermedias, como lo eran en la teoría de Bohr, en la que resultaba inexplicable lo que le ocurría al electrón al saltar de una órbita a otra a través de las "zonas prohibidas".

Los desarrollos teóricos efectuados por Schrödinger mediante admirables procesos matemáticos fundados en lo anteriormente expuesto, lograron el desarrollo completo de la llamada mecánica ondulatoria.

En la mecánica cuántica de Heisenberg se lleva hasta el límite el criterio predominante en todas estas nuevas disciplinas, de no admitir más hechos que los realmente observados y medidos o susceptibles de medida, así como los demostrados por procesos de cálculo; adopta como fundamento la existencia de los cuantos de energía, admite sin reserva los niveles energéticos de Bohr dentro del átomo y su significado cuantitativo, pero niega, por falta de comprobación, las trayectorias electrónicas (1).

Con todo esto, deduce el desconocimiento de la verdadera estructura interna del átomo, así como el que no es aplicable en estas disciplinas el principio de *causalidad* y sólo pueden hacerse declaraciones de *probabilidad* mediante leyes, cuya interpretación matemática son las ecuaciones de las ondas de que antes hablábamos, y sobre cuya naturaleza física no deben hacerse hipótesis ni inventar medios ficticios, dándolas únicamente el carácter de *ondas de probabilidad* para la determinación de las que corresponden a los límites *espaciales*, dentro de los cuales puede encontrarse un corpúsculo o *vectoriales* correspondientes a la velocidad.

El pretender seguir adelante y profundizar más en la cuestión nos llevaría, por un lado, a las matemáticas abstractas dentro de espacios multidimensionales y conceptos de ellos derivados (cálculo de matrices de Heisenberg) o al terreno de la Metafísica y de la Filosofía (2), en las que se argumenta con lenguaje muy diferente al corriente de las Ciencias físicas.

* * *

En todos los procesos anteriores no han intervenido, al menos de una manera directa, los núcleos, que venían permaneciendo ocultos, concentrados, aislados y bien protegidos en el centro de los átomos, pero que de algún tiempo a esta parte han sido perturbados en su tranquilidad tradicional, si bien se han

resistido y tomado desquite por medios violentos; no obstante, por los fenómenos radiactivos teníamos algunas noticias de ellos, los flujos materiales que constituyen los llamados rayos α y β , de la misma naturaleza que los rayos positivos y catódicos que se nos muestran en las experiencias de los tubos de vacío, así como los rayos γ de carácter electromagnético, como los luminosos y rayos X, proceden de los núcleos de los átomos de los elementos correspondientes; todo esto aún alcancé a explicárselo a mis alumnos (1), pero hoy tendría que rectificar en lo referente a la constitución de estos núcleos, pues en lugar de protones y electrones, como entonces expuse, debería haber expresado protones y neutrones, y si bien el neutrón consiste en un protón que ha captado un electrón, en aquella época eran todavía desconocidos los neutrones; en el interior de los núcleos está demostrado no puede haber electrones libres, por la razón de que es imposible en un espacio tan reducido el acoplamiento de la onda estacionaria asociada a su movimiento; la masa de los protones y neutrones es la misma (la del núcleo del hidrógeno), pero con la diferencia de que el protón posee una carga eléctrica positiva igual a la negativa del electrón, mientras que el neutrón, como su nombre lo indica, no tiene ninguna; choca a primera vista el que no existiendo entre estos constituyentes del núcleo (nucleones) ninguna fuerza atractiva, sino al contrario, algunas repulsivas (sólo entre los protones), se hayan podido formar conglomerados tan estables y fuertemente adheridos que representan la parte fundamental de lo que llamamos materia; no cabe duda que al acortarse las distancias nacieron fuerzas de origen desconocido de gran magnitud, cuyo trabajo desarrolló energías enormes, como lo prueba la gran estabilidad del producto.

Sobre el carácter de estas energías llamadas de interacción, en las que parecen entrar en juego los fenómenos llamados *spin*, giros de las partículas, se vienen efectuando estudios en las que hasta ahora no se ha logrado ninguna explicación satisfactoria (2).

De los citados razonamientos se deduce algo que de antiguo se venía sospechando, y que no obstante las grandes aproximaciones conseguidas y la precisión de las mediciones, no se llegaba a demostrar, esto es, el que los pesos atómicos de los elementos fueran números enteros, múltiplos del átomo de hidrógeno, lo que creyeron haberse explicado con el descubrimiento de los isótopos; los átomos de un mismo elemento no tienen todos el mismo peso, y esto es debido a que el número de neutrones de sus núcleos puede ser diferente; en cambio, el de los protones siempre será el mismo, dado que es invariable la cantidad de electrones y ha de haber compensación en-

(1) Iñiguez: *Mecánica cuántica*.

(2) Pérez del Pulgar y Orland: *Filosofía de la Físico-química*.

(1) López Franco: *Compendio de Química*.

(2) Jean Thibaud: *Energía atómica y Universo*.

tre las cargas positivas y negativas; resulta, por tanto, que en las determinaciones corrientes que hacemos sobre pesos atómicos, obtenemos siempre promedios entre números enteros que se traducen en cifras decimales; pero es el caso que tratando de hallar el peso, no de los átomos, sino de los núcleos, una vez clasificados y separados los isótopos, compuestos todos de un cierto número de masas iguales, tampoco se obtienen números enteros, si bien las cifras decimales son de un orden muy inferior; el peso de un núcleo siempre resulta menor que el de la suma de sus componentes.

Esto se explica porque la diferencia obtenida, medida como materia, es equivalente a la energía producida en su formación, según la conocida fórmula de Einstein $E = mc^2$, y digo conocida, porque también puede incluirla en las explicaciones de mi clase en tiempos ya algo lejanos.

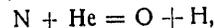
Toda reacción de transformación, de cualquier clase que sea, siendo exotérmica, conduce a la formación de sustancias más estables que las primitivas, y su estabilidad es tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad de energía desprendida; esto se viene diciendo en la química clásica, pero sin añadir el que esta energía representa una pérdida material, según la fórmula citada, que si es imperceptible en las reacciones moleculares, resulta ostensible y manifiesta en las reacciones nucleares, pérdida de masa que ya se observaba y medía en los fenómenos radiactivos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se han clasificado los núcleos según el orden creciente de sus masas o pesos atómicos, que, como hemos dicho, resultan prácticamente números enteros, múltiplos exactos de la masa del protón o núcleo del hidrógeno; las cifras obtenidas reciben el nombre de *números másicos*, semejantes a los *números atómicos* en la clasificación de los elementos; los números obtenidos ascienden hasta 238; resulta, por tanto, necesario para la definición completa de un átomo expresar a la vez que el símbolo del elemento, los números atómicos y másicos correspondientes que se colocan generalmente en forma de índice y subíndice; también se ha convenido el designar al primero por la letra Z , y al segundo, por A . Este número A , como ya sabemos, es igual a la suma del número de protones y de neutrones existentes en el núcleo, resultando que si se multiplica el número de protones Z de un átomo por lo que pesa cada uno (1,00814) y a este número se le suma el producto del número de neutrones ($A-Z$) por el peso de cada neutrón (1,00895), se obtiene siempre un número ligeramente superior al peso atómico del elemento.

En las obras que tratan de estas materias, se incluye siempre un gráfico de aquellas diferencias, ordenando los átomos en sentido creciente de sus pesos atómicos desde el H al U; la curva resultante (ordenadas, pérdida de masa partido por número má-

sico y abscisas números másicos) (1) pone de manifiesto las transmutaciones posibles, teniendo en cuenta que la estabilidad de cada átomo depende de la cuantía de esta diferencia, puesto que representa la energía que se desprendería en su síntesis a partir de protones y neutrones; cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será su estabilidad, y sólo puede estar en nuestra mano aprovechar en sentido decreciente los desniveles energéticos naturales, acusados por la curva; ésta es rápidamente creciente desde el hidrógeno a la zona comprendida entre el fósforo y las tierras raras, sensiblemente paralela al eje de las abscisas, cuyo punto culminante corresponde a la plata, el átomo de máxima estabilidad, a partir del cual la curva se presenta decreciente hasta el U 238. En el primer tramo, la inestabilidad de los átomos se traduce en la tendencia a transformarse en los siguientes de la serie, y como éstos tienen mayor masa, las reacciones posibles han de tener lugar mediante adiciones, mientras que en el tramo decreciente la tendencia es contraria, o sea la del paso de los de mayor a los de menor peso, lo que sólo puede tener lugar por desdoblamiento.

Estas reacciones entre núcleos no fueron conocidas, salvo las de los procesos radiactivos naturales, hasta 1919, en que Rutherford, bombardeando átomos de nitrógeno con partículas alfa, logró transformarlos en átomos de oxígeno con desprendimiento de protones, según una reacción que podemos escribir así, esquemáticamente:



a partir de entonces, fueron logradas otras muchas reacciones de este tipo (2), de interés puramente teórico, hasta que con el descubrimiento de la desintegración en cadena del Plutonio y del Uranio 235 se las pudo dar un fin práctico, de momento meramente destructor.

No obstante, existe una diferencia fundamental entre las clásicas reacciones entre moléculas y las novísimas reacciones nucleares; en las primeras, el calor, la energía que se desarrolla es capaz de propagar el efecto a las inmediatas moléculas a aquella en la cual se inicia, mientras que en las segundas no existe tal propagación; en las antes indicadas no se descomponen más átomos de nitrógeno que los que aisladamente chocan con alguna partícula alfa.

La reacción inicial del proceso de la desintegración del radio es su transformación en emanación y partículas alfa (núcleos de helio), la que se verifica, como todas las de su género, de un modo espontáneo, y regular, con una velocidad tal que al cabo de 1.730 años la masa de radio quedará reducida a la mitad.

(1) Julio Palacios: *Física nuclear*.

(2) Comandante Blanco García: *Fundamentos de la bomba atómica*.

Los pesos atómicos de los tres elementos que entran en juego son, respectivamente, 226,05, 222 y 4 unidades; la suma de los dos segundos difiere del primero en 0,05, que representa la pérdida de materia que se transforma en energía, o sea que 226,05 gr. (un mol) pierde en la transformación 0,05 gr., la energía equivalente será:

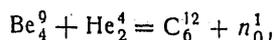
$$0,05 \times 10^{30} = 45 \times 10^{18} \text{ ergios} = 45 \times 10^{11} \text{ julios} = \\ = 11 \times 10^{11} \text{ calorías;}$$

cuya mitad, al cabo de 1.730 años, constituye una potencia de emisión por gramo de 135 calorías/hora; cifra del mismo orden de magnitud que la obtenida en las determinaciones calorimétricas corrientes.

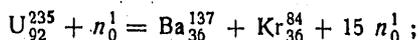
En la reacción artificial antes citada, con la transmutación del nitrógeno en oxígeno, la pérdida de masa es de 0,00377, y de este mismo orden vienen a ser las obtenidas en las demás reacciones semejantes.

Los rayos alfa desprendidos en la radiactividad natural y los protones (núcleos de hidrógeno) obtenidos artificialmente, dotados ambos de enorme velocidad, penetran sin dificultad a través de la materia por los espacios vacíos de los átomos, y solamente los que chocan con los núcleos son capaces de producir escisiones en los mismos; a este choque se oponen sus cargas positivas, que producen repulsiones que limitan mucho las colisiones entre partículas y núcleos, y solamente cuando se ha llegado a conseguir los bombardeos con neutrones es cuando se ha logrado multiplicar el número de choques, con el consiguiente aumento de la energía desprendida, y esto tuvo lugar en Roma por el año 1934 (Fermi), produciéndose el desdoblamiento de los átomos de uranio.

Los neutrones, a su vez, se obtienen bombardeando con partículas alfa los átomos de berilio mediante la siguiente reacción:



cuya pérdida de masa es solamente de 0,006, pero que en cambio se originan neutrones capaces de actuar sobre otros átomos estables, como los del uranio (isótopo de peso atómico 235), desdoblándole en bario y cripton con la producción de más neutrones, que pueden a su vez atacar otros átomos; la reacción inicial es teóricamente:



haciendo el balance de las masas isotópicas (sólo las conocidas) de estos elementos, resulta una pérdida de masa de 0,071, que representa una energía de:

$$33 \times 10^{11} \text{ julios,}$$

que por desarrollarse en un brevísimo tiempo (fracción de segundo) y el poder actuar los neutrones desprendidos sobre otros átomos del U 235, dan a las reacciones sucesivas (reacciones en cadena) un carácter trágicamente explosivo.

Ahora bien: la cuantificación exacta, aun dentro del mismo orden de magnitud, es bastante difícil y desconocida; la producción de nuevos neutrones, aunque fué demostrada por Joliot en 1939, constituyó antes sólo una hipótesis probable, de la que Otto Hahn no logró obtener confirmación (1); por otra parte, los nuevos elementos resultantes presentan un marcado carácter radiactivo, de donde se deduce que aunque sean precisamente Ba y Kr (lo mismo pueden ser *scenon* y estroncio, antimonio y el elemento 41, o bromo y lantano) corresponden a isótopos inestables de los mismos, y gran parte de los 15 neutrones producidos entran a formar parte de sus núcleos, que por emisión de partículas beta se transforman inmediatamente en protones, evolucionando estos isótopos inestables hacia otros elementos estables (así el cripton pasa a rubidio, éste a estroncio, el que se transforma en itrio, y, a su vez, este último en un isótopo ya estable del circonio). Como consecuencia, parece ser que sólo tres neutrones quedan en libertad, que son suficientes para que las reacciones en cadena puedan seguir teniendo lugar.

No cabe duda de que con anterioridad, y aun simultáneamente a los estudios para la aplicación de esta energía a fines bélicos, se ha tratado de producir o desarrollar las reacciones citadas, de una manera disciplinada, que permitiese su adaptación a fines corrientes pacíficos, pero tanto en un caso como en otro constituyó una grave dificultad la obtención del U 235 isótopo escaso del elemento corriente U 238; pero no obstante, bombardeando con neutrones masas de este último siempre se consigue la escisión de alguno de los escasos átomos del U 235 que contenga, observándose que parte de los neutrones producidos se fijan en el núcleo del U 238, formándose un nuevo isótopo, el U 239, muy inestable (su período es de veintitrés minutos), y que por emisión de una partícula beta se transforma en otro nuevo elemento, el *neptunido*, de número atómico 93, también radiactivo de corta vida (dos-tres días), y que por una nueva emisión de partículas beta origina el elemento 94, *plutonio*, de vida relativamente larga. Más fácil de separar del U 238 por tratarse de un elemento distinto, no de un isótopo, se utiliza lo mismo que el U 235 como explosivo "atómico".

Aunque hemos dicho que hasta el descubrimiento de los neutrones no se habían conseguido transmutaciones artificiales con facilidad, éstas se logran también utilizando partículas alfa, protones o mejor, deuteriones (átomos del isótopo del hidrógeno deuterio con una carga positiva), por su mayor peso con relación a la carga, pero aceleradas por medio de potentes campos eléctricos y magnéticos en los aparatos denominados ciclotrones.

(1) Otto Hahn: *Desintegración atómica y nuevos elementos artificiales*, 1948.