temor a enfrentarse con ciertos problemas de la Filosofía Natural que, por estar más íntimamente relacionados con las Ciencias experimentales y exigir un conocimiento más profundo de estas Ciencias, parecen más difíciles de abordar.

Tal sucede, por ejemplo, con el problema de la constitución íntima de los seres materiales al que la filosofía aristotélico-tomista dió una solución satisfactoria, pero que la Ciencia actual rechaza proponiendo una solución distinta del mismo, con lo que invade un terreno que no le corresponde, ya que las Ciencias experimentales, por su naturaleza y por sus métodos, no pueden llegar a la esencia del ser, que cae fuera de toda observación directa, como acertadamente dijo S. S. Pío XII en su citada alocución a los miembros de la Academia de Ciencias: «Il s'agit avant tout de penetrer la structure intime des etres materiaels et de regarder les problemes qui interessent les fondements substantiels de leur etre et de leur action. Alors se pose la question: «La science experimentale peut-elle par elle-meme resoudre ces problems?» «Sont-ils de son resort et tombent-ils dans le champ d'application de ses methodes de recherche? Il faut repondre que non» [2].

Es preciso, pues, restablecer el equilibrio en torno al problema de la constitución de los seres materiales revalorando los sanos principios de la filosofía tradicional a la luz de las más recientes investigaciones de la Ciencia moderna que, lejos de apartarnos de la verdad, nos conducirán más fácilmente hacia ella si sabemos leer acertadamente en el libro abierto de la naturaleza que procede de la única fuente de verdad y sabiduría que es Dios [3].

Plenamente convencidos de que la filosofía tradicional nada tiene que temer de los grandes progresos de la Ciencia, sino que, por el contrario, en ellos ha de encontrar su mejor y más valiosa confirmación, abordamos a continuación el problema de la constitución de los cuerpos a la luz de la Ciencia moderna.

I

Los cambios sustanciales en la Filosofía Aristotélico-Tomista

Los cambios sustanciales ocupan un lugar preeminente en la Filosofía Natural de Aristóteles; toda ella gira en torno al movimiento, es decir, a los cambios que a diario observamos en los seres materiales.

---

2. A.A.S., 47 (1955), 357.

3. «Nous estimons que les sciences naturelles, en contact permanent avec une philosophie du realisme critique qui fut toujours celui de la «philosophia perennis» chez ses representants les plus eminents, peuvent arriver a une vision d'ensemble du monde visible, qui satisfasse en quelque maniere la recherche et le desir ardent la verité». A.A.S., 47 (1955), 401.

Universidad Pontificia de Salamanca

El fin primordial del Hilemorfismo aristotélico es dar una explicación racional, por sus últimas causas, de la unidad y mutabilidad de los seres materiales, buscar la razón de ser de los cambios en la misma esencia del ser material, en sus últimos constituyentes.

El ser material —afirma Aristóteles frente a Parménides— no es inmutable, sino que está sujeto a continuos cambios y esto por su misma naturaleza, por su misma esencia, así nos lo atestigua nuestra experiencia diaria.

Pero no todo es mudable en el ser material, proclama a su vez Aristóteles contra Heráclito, hay en él algo estable, algo permanente, algo que se conserva invariable a través de los cambios.

La mutabilidad del ser obliga al Estagirita a hacer un detenido estudio del movimiento y de los cambios que le lleva, como de la mano, a la conclusión de que la sustancia material no puede ser simple en su esencia, sino compuesta, pues, de lo contrario, no serían posibles los cambios sustanciales ya que éstos exigen que algo sustancial permanezca a través del cambio y algo también sustancial desaparezca y sea reemplazado por algo también sustancial.

Por otra parte la unidad del ser, atestiguada también por nuestra observación vulgar, exige la unidad de la sustancia, la unidad de la esencia; es preciso, pues, coordinar ambos caracteres de los seres materiales.

Esto exige que los principios esenciales de la sustancia material no sean seres completos, pues perecería la unidad del ser, sino «principios de ser», sustancias incompletas que se complementan mutuamente para formar una única sustancia, el ser uno y subsistente.

En un análisis ulterior, por la analogía entre los cambios sustanciales y accidentales, Aristóteles denomina a estos dos cooprincipios del ser material «materia prima» y «forma sustancial», el primero pasivo, potencial e indeterminado y el segundo activo, actual y determinante.

La materia prima es común a todos los seres materiales y representa el principio permanente a través de los cambios, la forma sustancial es la que se transforma para dar lugar a la formación del nuevo ser.

Este esquemático resumen del Hilemorfismo revela bien a las claras la importancia que los cambios sustanciales tienen en la Filosofía Aristotélica y, por consiguiente, en la Filosofía de Sto. Tomás y de toda la Escolástica.

Negar la existencia de los cambios sustanciales en el mundo material o la posibilidad de reconocerlos equivale, pues, a negar el Hilemorfismo.

Actualmente son muchas las voces que, no sólo desde el campo filosófico, sino también desde el científico, impugnan la existencia de verdaderos cambios sustanciales.

Universidad Pontificia de Salamanca

Todos estos adversarios del Hilemorfismo podemos dividirlos en dos grupos.

Unos, que niegan rotundamente la existencia de verdaderos cambios sustanciales apoyándose en ciertos hechos científicos que parecen probar de manera concluyente que los átomos conservan en el compuesto su propia individualidad y, por consiguiente, que los cuerpos son un mero agregado de átomos de varias clases.

Otros, no tan radicales, influenciados excesivamente por las afirmaciones más o menos gratuítas de ciertos científicos, admiten que no se dan cualidades verdaderamente específicas en los seres materiales y, por consiguiente, como la única manera que tenemos para conocer si ha habido o no un cambio sustancial es el cambio de propiedades específicas, según la filosofía escolástica, si no hay cualidades verdaderamente específicas, nunca podremos saber si, al formarse un compuesto, se ha generado o no una nueva sustancia o lo que es lo mismo, si ha habido o no un cambio sustancial.

Influenciados, sin duda, por estas afirmaciones que se hacen en nombre de la Ciencia, algunos filósofos modernos, como F. Renoirte [4], considerando insuficientes las pruebas tradicionales del Hilemorfismo, basadas en los cambios sustanciales, tratan de buscar otras pruebas de tipo más bien ontológico, en su afán de permanecer fieles a la filosofía tradicional.

Bien está que se busque la mayor abundancia de pruebas en favor de dicho sistema, pero, a nuestro juicio, todas ellas serían de muy poca utilidad si no se reconoce la existencia de verdaderos cambios sustanciales, razón y objeto del hilemorfismo.

Creemos, sin embargo, que todos estos filósofos han rendido demasiado pronto sus armas ante el temor de enfrentarse con los hombres de ciencia, dando como bueno cuanto ellos afirman; a nuestro juicio, no sólo no tiene nada que oponer la Ciencia moderna a la existencia de verdaderos cambios sustanciales en los seres materiales, sino que, por el contrario, ella nos ofrece una confirmación experimental de los mismos, como trataremos de justificar más adelante.

II

Cambios sustanciales y accidentales

Parece evidente que no todos los cambios que se desarrollan continuamente en la Naturaleza son iguales; unos afectan solamente a la «*manera de estar*» o de presentarse el cuerpo material, otros, en cambio,

4. FERNAND RENOIRTE, *Elements de Critique des Sciences et de Cosmologie*, 2.ª ed. (Louvain, 1947), p. 212 s.

Universidad Pontificia de Salamanca

afectan a la misma «*manera de ser*», a su misma esencia; el ser primitivo desaparece en el cambio y en su lugar aparece un nuevo ser.

Así cuando tenemos agua fría y la calentamos el agua experimenta un cambio, antes estaba fría, después está caliente; ha cambiado su poder calorífico, sin embargo, sigue siendo agua, tiene las mismas propiedades físicas y químicas, salvo ligeras modificaciones en aquéllas. Este cambio sólo afecta, pues, a la «manera de estar» del agua, pero no a su «manera de ser»; ha habido un cambio accidental.

En cambio, si sometemos el mismo agua a la acción de la corriente eléctrica en el voltámetro, ésta se descompone en dos gases, oxígeno e hidrógeno, que tienen propiedades físicas y químicas distintas de las del agua; el cambio ha afectado, pues, a la misma «manera de ser» del agua, ya no es agua lo que queda después del cambio, sino otras dos sustancias distintas: oxígeno e hidrógeno. Ha tenido lugar un cambio sustancial.

El simple análisis de estos cambios nos lleva, como de la mano, al concepto de sustancia y accidente.

En los seres materiales vemos que hay algo que no afecta a la manera de ser, algo que el ser material puede perder o adquirir sin que por ello deje de ser tal ser; este algo son los accidentes o propiedades del cuerpo: dureza, estado físico, densidad, color, etc.

Estos accidentes, por su misma naturaleza, exigen siempre un soporte material para su existencia; existe el cuerpo blanco, pero no «lo blanco.»

En los cambios accidentales vemos que cambian los accidentes mientras que algo permanece inalterable a través del cambio, algo que no necesita para existir de otro como sujeto de inhesión; este algo permanente y subsistente es lo que Aristóteles llama «sustancia».

Existe una íntima unión entre la sustancia y sus accidentes, cada sustancia tiene sus accidentes propios, específicos, que la distinguen de todas las demás; en virtud de esta íntima unión entre la sustancia y los accidentes el cambio de las propiedades específicas de un cuerpo exige indudablemente un cambio de esencia, o sea, un cambio sustancial.

Interesa, sin embargo, destacar bien el concepto de sustancia en la filosofía aristotélica; la sustancia es algo subsistente, pero también algo oculto, algo desconocido, que escapa a la percepción de los sentidos, algo que está debajo de los accidentes y que sólo podemos conocer a través de éstos, por tanto de una manera indirecta y confusa. Luego la sustancia, en sentido aristotélico no puede ser objeto directo de las Ciencias experimentales.

Un nuevo concepto, o mejor, una nueva entidad, interviene en la filosofía aristotélica, el concepto de *esencia*. Se llama esencia de un cuerpo aquello por lo cual una cosa es tal, o, como dice Sto. Tomás: «Id quo res est id quod est», es decir, aquello que puesto tenemos tal cosa y, que quitado, deja de ser tal cosa.

Universidad Pontificia de Salamanca

Podemos, pues decir, que los seres materiales constan de esencia y accidentes y de aquí podemos deducir también las dos clases de cambios: *sustanciales* en los que cambia la esencia, y *accidentales* en los que cambian solo los accidentes.

Como la sustancia es directamente incognoscible por los sentidos, los cambios sustanciales son así mismo incognoscibles de una manera directa; solo podemos deducir que ha habido un cambio sustancial partiendo del cambio de propiedades específicas que nos revelan los sentidos; de aquí que Aristóteles y Santo Tomás, para estudiar los cambios sustanciales, se valgan del estudio y análisis de los cambios accidentales.

«Sic cognoscimus —dice Santo Tomás— quod lignum est aliquid praeter formam scanni et lecti, quia quandoque est sub una forma, quandoque sub alia. Cum igitur videamus hoc quod est aer, quandoque fieri aquam, oportet dicere quod aliquid existens sub forma aeris, quadoque sit sub forma aquae; et sic illud quod est aliquid praeter formam aquae et praeter formam aeris, se habet ad ipsas substantias naturales sicut se habet aes ad statuam, et lignum ad lectum, et quodlibet materiale et informe ad formam [5].

Es decir, así como de la contemplación de los cambios accidentales deducimos que bajo aquello que cambia hay algo permanente, inalterable, que es el sujeto del cambio (la madera, el bronce), así también en todo cambio sustancal debe haber algo sustancial que cambie, pues de lo contrario, el cambio no sería sustancial, y algo sustancial que permanezca invariable a través del cambio, pues de lo contrario no habría un sujeto del cambio; habría sustitución de una cosa por otra, pero no podríamos decir, como afirma Santo Tomás, aunque equivocadamente, que el aire se convierte en agua.

Un segundo ejemplo de cambio accidental, tomado también de Aristóteles y Santo Tomás nos aclarará aún más los cambios sustanciales.

Así como el bronce, por el mero hecho de ser bronce, es indiferente para ser un jarrón o una estatua y el que sea una u otra cosa depende solamente de la forma que le dé el artista al tallarlo, así también en los seres materiales debe haber algo esencial que sea indeterminado, indiferente para ser una cosa u otra, y algo también esencial que lo determine, que lo actualice para ser tal ser y no otro; solo así se puede comprender la generación y corrupción de los seres materiales.

Al principio indeterminado, pasivo y potencial lo llama Aristóteles «materia prima» y al otro principio actual y determinante «forma sustancial» por su analogía con las formas accidentales.

Estos dos principios de los seres materiales deben ser algo real, puesto

5. S. THOMAS, *Coment. in Libr. Physic. Arist.*, lib. 1, lect. XIII.

Universidad Pontificia de Salamanca

que reales son las cosas, y Aristóteles las estudia desde el punto de vista físico.

No quiere decir esto, sin embargo, que dichos principios hayan de ser seres completos y subsistentes, pues ello destruiría la unidad del ser que, como hemos visto, es fundamental para Aristóteles; la materia prima y la forma sustancial son dos sustancias incompletas que se completan al unirse para formar una sola sustancia, una sola esencia; hablando en términos escolásticos diremos que la materia y la forma no son «ens quod» si no «ens quo», es decir, no son seres, si no «partes del ser».

Ni la materia prima ni la forma sustancial (nos referimos solamente a las formas materiales) son subsistentes por sí mismas, lo que subsiste es el compuesto de ambos principios, el «suppositum», el ser concreto e individuo. De esta manera logra Aristóteles salvaguardar la unidad del ser material que es un hecho de observación vulgar, al mismo tiempo que explica su mutabilidad, atestiguada también por nuestra experiencia diaria, pero aun quedan muchos puntos obscuros en torno a los cambios sustanciales que es preciso aclarar.

En los cambios accidentales (el artista que moldea el barro para hacer una estatua) la aparición o desaparición de la forma o figura se hace de una manera lenta y sucesiva, a medida que interviene la mano del artista; la forma accidental o figura es algo extenso que va surgiendo a medida que el artista va reduciendo el barro a sus verdaderos límites, pero esto no puede ocurrir en los cambios sustanciales ya que la forma sustancial, por ser simple, carece de partes. Luego debe producirse o desaparecer «in instanti» y «tota simul»; esto parece implicar un verdadero aniquilamiento de la forma antigua y la creación de la forma nueva, lo cual repugna, ya que crear y aniquilar son obras exclusivas de Dios.

Sin duda el origen de la forma sustancial es uno de los escollos más difíciles de salvar en el Hilemorfismo, porque la analogía que se podía utilizar de los cambios accidentales, lejos de aclarar la cuestión, la complica aún más.

En los cambios accidentales la forma surge simplemente por la limitación externa de la materia bajo la acción de la causa eficiente; el artista va actuando sucesivamente sobre las distintas partes de la materia e imponiéndole sus límites de acuerdo con el modelo que se propone reproducir, pero en los cambios sustanciales, en la generación, la causa eficiente no puede actuar sobre la materia prima, para limitarla, actúa sobre el ser subsistente que se corrompe, perdiendo su forma, que en el mismo instante será sustituída por la forma del nuevo ser.

Pero ¿de dónde sale la forma nueva y qué se hace de la antigua?

Santo Tomás contesta a la pregunta con una frase certera, aunque un poco cabalística, que apenas permite aclarar el misterio en que se halla envuelta la generación y corrupción de los seres materiales.

Universidad Pontificia de Salamanca

La forma sustancial —dice Santo Tomás— «educitur e potentia materiae», es decir, se saca de la potencialidad de la materia. «Omnis forma quae educitur in esse per materiae transmutationem est forma educta de potentia materiae» [6].

No es que la materia prima sea la causa material de la forma sustancial de donde la saca la causa eficiente, no, esta potencialidad de la materia consiste solamente en que la materia tiene capacidad receptiva de tal forma bajo la acción de la causa aficiente, algo así como el barro tiene capacidad receptiva de la forma de jarrón o de estatua.

El término de la generación no es la forma sustancial, sino el compuesto, el ser subsistente y completo, por tanto la forma sustancial no se genera directamente, sino de una manera indirecta, al generarse el compuesto de que forma parte, que es el término de la generación.

Esta solución verdaderamente genial y perfectamente lógica deja, sin embargo, envuelto en el mayor de los misterios el origen y la desaparición de la forma sustancial, pero dice todo cuanto, a juzgar por nuestra observación vulgar y basándonos en la lógica, podemos decir sobre dicha cuestión a la luz de la razón.

¿Qué se hace de la forma antigua, se aniquila o se transforma en la nueva?

Aquí resalta nuevamente el genio de Santo Tomás tan realista en su filosofía como Aristóteles.

La observación vulgar revela que el mismo compuesto se descompone siempre en los mismos elementos, cualquiera que sea el procedimiento que se utilice para descomponerlo, es decir, cualquiera que sea la causa eficiente que cause su corrupción; esto exige indudablemente que las formas de los elementos que integran el compuesto no desaparezcan totalmente al generarse éste, sino que deben permanecer en el compuesto de alguna manera, al menos virtualmente, pues solo así se puede dar razón de los hechos experimentales.

Desde luego no pueden permanecer «formalmente», es decir, con su propia individualidad, pues ello destruiría la unidad sustancial del compuesto, ni tampoco en «pura potencia», pues entonces quedaría inexplicable por qué del mismo compuesto salen siempre los mismos elementos.

Las formas de los componentes permanecen, pues, virtualmente en el compuesto.

La Filosofía Aristotélico-tomista resuelve, pues, acertada y cumplidamente la permanencia de los elementos en el compuesto, sin menoscabo de su unidad sustancial, pero ello no aclara plenamente los cambios sustanciales, aún se perciben lagunas y puntos obscuros.

---

6. S. THOMAS, *Summa contra Gentiles*, lib. 2, c. 86.

Universidad Pontificia de Salamanca

¿Cómo explicar, por ejemplo, esa permanencia virtual de los elementos en el compuesto? ¿En qué consiste la permanencia virtual de las formas?

Hemos de confesar llanamente que resulta poco menos que imposible la contestación a esas preguntas, basándonos solamente en la observación vulgar y el raciocinio; los principios de la más sana filosofía exigen que sea así, pero nuestra razón no puede penetrar en el misterio que ello encierra.

Creemos, sin embargo, que la Ciencia actual puede facilitarnos la inteligencia de estos puntos obscuros del Hilemorfismo, como intentaremos demostrar más adelante.

III

Las propiedades físico-químicas y la diferenciación de los elementos químicos

La filosofía aristotélico-tomista demuestra la existencia de cambios sustanciales en el mundo material basándose en el cambio de propiedades específicas entre los componentes y el compuesto, ya que dada la íntima conexión existente entre la sustancia y los accidentes, todo cambio de propiedades específicas debe implicar necesariamente un cambio de esencia, o lo que es lo mismo, un cambio sustancial.

La Ciencia moderna, sin embargo, pone en tela de juicio la existencia de tales propiedades específicas y, por consiguiente, la existencia de verdaderos cambios sustanciales o, al menos, la posibilidad de reconocerlos; interesa, por tanto, estudiar detenidamente esta cuestión.

No se trata, por supuesto, de discutir si existen o no diferencias entre los diversos elementos químicos, o entre los elementos y el compuesto, ya que precisamente la existencia de tales diferencias es la base de la Química; lo que tratamos de determinar es el alcance de tales diferencias, es decir, si tales diferencias entre los diversos elementos es algo puramente accidental o bien algo que atañe a la esencia misma del ser material, de tal manera que, como afirma la Escolástica, podamos afirmar que ello implica necesariamente la diversidad de esencia de los elementos químicos o entre los elementos y el compuesto.

Es indudable, por ejemplo, que entre el hidrógeno y el oro existen notables y profundas diferencias; el primero es gas a la temperatura ordinaria, incoloro, arde al contacto con una llama, es menos denso que el aire, se combina fácilmente con casi todos los elementos, solamente se licúa a la baja temperatura de —243° C. En cambio, el oro se presenta en estado sólido a la temperatura ordinaria, es de color amarillo, más denso que el aire, incombustible, se combina muy difícilmente con los restantes elementos y solo funde a 1063° C.

¿Estas diferencias y otras muchas que pudiéramos señalar entre el hi-

Universidad Pontificia de Salamanca

drógeno y el oro son verdaderamente específicas o son simplemente diferencias cuantitativas y graduales, o lo que es lo mismo, diferencias puramente accidentales?

He aquí el problema a discutir.

Oigamos primeramente la voz de un científico que trata ampliamente dicha cuestión, al P. Jaime M.ª del Barrio que en su obra «Las fronteras de la Física y la Filosofía» dice así: «Al problema así planteado la Física y la Química de hoy responde categóricamente: 1.º) A pesar de las apariencias entre las propiedades de los elementos, las discrepancias son únicamente graduales, cuantitativas; no se conoce propiedad esencial específica de ningún elemento, es decir, común a todos y cada uno de sus individuos, solo a ellos e inseparablemente.

2.º) Todas las diferencias entre las propiedades de los átomos, aún las más salientes, se explican por diferencias no más que en el número y disposición de las mismas partículas elementales constitutivas de los átomos: protones, neutrones y electrones sometidos a la misma clase de fuerzas, aunque de diversa intensidad, según las circunstancias.

Naturalmente que para probarlo no es menester en todos los casos demostrar directamente la dependencia, señalar con el dedo el mecanismo de los fenómenos; nos basta hacer ver que la propiedad discutida cambia en el mismo átomo con las circunstancias.

En otros términos, nuestra tesis afirma que las diferentes especies químicas de átomos son otros tantos diferentes sistemas en equilibrio, construídos con los mismos sillares, sometidos a las mismas fuerzas, aunque de diversa intensidad, según los casos. Toda la diferencia entre los edificios atómicos está en el número, disposición y estado energético de los subelementos.

Claro está que en la Naturaleza a nuestro alcance, salvo raras excepciones, como en los gases nobles, los elementos no se presentan en el estado atómico si no en el molecular y aún formando agregados superiores, así en el estado gaseoso como en el líquido y, sobre todo, en el sólido.

Como lo mismo la molécula que los cristales de los elementos en cuanto al número de componentes, disposición y estado energético son tan diversos, de ahí una porción de propiedades diferentes en los elementos tales como se nos presentan en la Naturaleza o en la industria, que no son precisamente atómicas ni dependen inmediatamente del número y disposición de los subelementos, sino de la agrupación de los átomos mismos.

La tesis no toca la cuestión de si los cuerpos constan o no de materia prima y forma sustancial; esa cuestión cae fuera de la Física, cuyas alas son la experiencia y el cálculo» [7].

7. J. M. DEL BARRIO, *Las fronteras de la Física y la Filosofía* (Comillas, 1949), t. II, p. 146.

Universidad Pontificia de Salamanca

De la cita un poco larga, pero interesante, que acabamos de transcribir surgen espontáneamente varias preguntas a las que es preciso dar una contestación clara y precisa si queremos seguir defendiendo los cambios sustanciales.

Primera.—¿Es cierto que las propiedades de los elementos químicos varían solamente de una manera gradual y cuantitativa?

Segunda.—Aun admitido que dichas diferencias sean solo graduales y cuantitativas y que puedan explicarse por la simple agrupación, disposición y energía de las partículas elementales, ¿no se pueden considerar a dichas cualidades como verdaderamente características y específicas?

Tercera.—¿No se dan propiedades verdaderamente específicas?

Trataremos de contestar brevemente a cada una de ellas.

¿Es cierto que las propiedades físico-químicas de los elementos varían de una manera gradual y cuantitativa?

Si se las considera individualmente es indiscutible que sí, más aún, diremos que repugna científicamente que puedan variar de una manera cualitativa.

Basta recordar, en efecto, cómo define el científico las propiedades, para darse cuenta de que la diferencia tiene que ser cuantitativa o gradual y de ninguna manera cualitativa; el físico define las propiedades por sus procedimientos de medida, es decir, el físico, a diferencia del filósofo «mide primero y define después».

Así, para llegar a definir, por ejemplo, el coeficiente de elasticidad por torsión de los diferentes cuerpos, comenzará por formar una serie de hilos iguales de cada uno de los cuerpos y después someterá a cada uno de ellos a un par de fuerzas que origine la torsión; según sea mayor o menor el ángulo de desviación, para la unidad de fuerza, así será mayor o menor el coeficiente de torsión de cada uno de los cuerpos ensayados.

Es evidente que la diferencia entre el coeficiente de torsión de unos cuerpos y otros tiene que ser necesariamente cuantitativa y gradual, no cualitativa, pues, en caso contrario, habría que emplear un instrumento distinto para medir dicha cualidad en cada uno de los cuerpos ensayados, en cuyo caso ya no se podrían comparar los resultados.

En pocas palabras, como el físico utiliza siempre un instrumento para medir la propiedad que estudia y éste tiene que llevar siempre una escala graduada previamente, mediante la aplicación de una fuerza proporcional a la desviación, es evidente que dicho aparato sólo podrá apreciar diferencias graduales, nunca diferencias cualitativas, porque ello exigiría emplear instrumentos distintos y no podríamos hablar de propiedades generales.

Universidad Pontificia de Salamanca

Algo análogo se puede decir de las propiedades químicas. Si se consideran los elementos químicos ordenados, como se hallan en el Sistema Periódico de Mendelejeff, puede afirmarse que la variación de las propiedades químicas de un elemento a otro es también gradual y cuantitativa en general.

Pero no hay que olvidar que la definición que da el científico de las propiedades no es una definición esencial, que nos dice lo que es la propiedad en sí; tal definición sólo expresa el efecto que ejerce el cuerpo, cuya propiedad se estudia, sobre un determinado instrumento, por eso una misma propiedad puede ser estudiada y aún definida, mediante el empleo de diversos instrumentos de medida.

No obstante, la propiedad en sí debe ser algo objetivamente distinto del efecto que produce en los instrumentos, pero éstos, naturalmente, no pueden acusar más que variaciones graduales o cuantitativas.

No basta, pues, afirmar que una determinada propiedad varia gradualmente de unos cuerpos a otros, es preciso, además, saber por qué dicha propiedad alcanza un determinado valor en un elemento y en cambio en otros alcanza valores distintos; un violín y una guitarra pueden dar la misma escala musical, sus notas tienen respectivamente el mismo número de vibraciones en ambos instrumentos, sin embargo, un músico distinguirá perfectamente cuándo suena la guitarra y cuándo el violín, porque los armónicos que acompañan al sonido principal hacen que el timbre de uno y otro instrumento sean distintos.

Sin embargo, la verdadera causa de la diferenciación de las notas de uno y otro instrumento hay que buscarla en la naturaleza de la materia de que uno y otro están hechos, en su forma y en los caracteres de las cuerdas que utilizan, es decir, en su misma esencia.

Tampoco basta con dar una explicación mecánica, más o menos verosímil, de la variación de dicha propiedad, porque esa explicación mecánica, como confiesan los mismos científicos, no busca, de por sí, la verdadera causa del fenómeno o de la propiedad que se estudia, sino tan sólo trata de dar una explicación de la misma, suficiente para que el científico pueda trabajar, de acuerdo con los conocimientos actuales o con ciertas teorías en boga; es preciso buscar la razón última de dicho comportamiento, la verdadera causa de esa manera específica de actuar dicha sustancia sobre determinados instrumentos o en determinadas condiciones.

¿No hay, pues, cualidades específicas?

Si consideramos las propiedades individualmente y tomamos la palabra «específicas» en su sentido más estricto, es decir, en cuanto que dicha propiedad convenga única y exclusivamente a todos los individuos de la misma especie o a todos los átomos de un mismo elemento, podemos decir que no existen propiedades específicas ya que, aún las llamadas propiedades particulares, como el magnetismo del hierro o el poder rotatorio de la

Universidad Pontificia de Salamanca

sacarosa, no son exclusivas de dichas sustancias, sino que, en mayor o menor grado, pueden poseerlas otras sustancias. Posiblemente la única propiedad específica sería el número atómico que representa el número de cargas positivas eléctricas que tiene cada núcleo atómico, pues el peso atómico, aunque constante, puede variar, dentro de pequeños límites, para un mismo elemento químico.

Pero si tomamos la palabra «específicas» en un sentido menos riguroso, como sinónima de «características», y consideramos, no la propiedad en sí solamente, sino también el grado en que dicha propiedad se manifiesta en cada cuerpo, en idénticas condiciones, no cabe duda de que existen numerosas propiedades específicas, así el magnetismo es una propiedad característica de la magnetita, puesto que solamente en dicho mineral alcanza una intensidad apreciable.

No creemos que sea necesario dar a la palabra «específicas» un sentido más riguroso, así lo entendió la Escolástica y ello basta para diferenciar suficientemente unos cuerpos de otros.

Ni se opone a esto el que una misma propiedad pueda alcanzar valores distintos al variar ciertas condiciones físicas, por ejemplo, la presión, la temperatura, el estado físico, etc., ello sólo demuestra que dicha propiedad tiene un origen más complicado de lo que nosotros nos imaginamos y que su valor depende de varios factores, pero, si operamos en idénticas condiciones, dichas propiedades alcanzan siempre un valor fijo y constante.

Así el punto de ebullición, el punto de fusión, etc., de una sustancia puede variar al variar la presión, pero si operamos en condiciones normales siempre tienen el mismo valor.

Por otra parte los mismos científicos dan a ciertas propiedades el carácter de «específicas», es decir, que ellas solas bastan para diferenciar unas sustancias de otras, tales son, por ejemplo, las constantes físicas y químicas de cada elemento: peso atómico, número atómico, calor específico, espectro, punto de fusión, punto de ebullición, densidad, valencia química, etc.

Todas estas propiedades deben ser consideradas como específicas, no en cuanto que sean propias y exclusivas de cada sustancia, sino en cuanto que en cada sustancia alcanzan un valor fijo y determinado, siempre constante en condiciones normales.

Sobre todo son verdaderamente específicas las propiedades si se consideran en conjunto, cada una con su propio valor; una misma propiedad puede alcanzar valores prácticamente iguales en diversas sustancias, pero, sin embargo, no hay dos cuerpos distintos que tengan todas sus propiedades exactamente iguales, sino que siempre se diferenciarán en varias propiedades. No importa, pues, que la variación de las propiedades de un cuerpo a otro sea solamente gradual, lo que importa es que para cada sustancia dichas propiedades alcanzan siempre un valor perfectamente

Universidad Pontificia de Salamanca

determinado y constante, formando el conjunto de todas ellas el grupo de constantes físico-químicas que caracteriza y define perfectamente cada sustancia.

Por otra parte es preciso hacer notar que actualmente se desconoce casi por completo el origen de las propiedades físico-químicas, la Física actual da una explicación más o menos verosímil y, desde luego mecánica, de las mismas, pero ello no significa que de hecho las cosas sean así; el átomo y la molécula aparecen cada día más complejos y misteriosos y estamos aun muy lejos de comprender la verdadera estructura del átomo [8] y la molécula y mucho menos aún la naturaleza e intensidad de las fuerzas que en ellos intervienen.

Los fenómenos naturales sólo consisten en un intercambio de energía entre dos cuerpos o entre un cuerpo y el medio ambiente y lo mismo podemos decir de las propiedades físico-químicas; éstas se manifiestan siempre por una acción, la acción que el cuerpo ejerce sobre nuestros sentidos o sobre un determinado instrumento; ello implica, por consiguiente, un trabajo y, por lo tanto, el gasto de una energía que procede del cuerpo que actúa.

Luego el que un átomo o una molécula o una sustancia cualquiera tenga unas determinadas propiedades depende en último término de su constitución, de su naturaleza, de su estructura y sobre todo de su capacidad energética, resultante de las fuerzas que en ellas actúan, lo cual quiere decir que las propiedades esenciales o específicas están íntimamente ligadas a la esencia como había postulado siempre la filosofía escolástica.

En resumen, aunque la diferencia de propiedades entre los cuerpos sea solamente gradual y cuantitativa ello no impide que podamos considerar a aquellas como verdaderamente específicas y suficientes para diferenciar unos cuerpos de otros, lo cual nos permite reconocer los cambios sustanciales.

IV

Estructura molecular

Aunque, a simple vista, la mayoría de los cuerpos naturales parecen macizos y contínuos, es lo cierto que, como han demostrado plenamente

8. «The universal features of nuclear systems such as the evidence for the saturation character of the forces of attraction, the (rougly) constant nuclear density and the absolute magnitude of the average binding energy due to nuclear forces can be understood only on the bassis of a complete theory of the forces between nucleons. There is no adequate theory of these forces at the present time». G. GAMOW AND C L. CRITCHFIELD, *Theory of Atomic nucleus and nuclear energy sources* (Oxford, 1949), p. 83.

Universidad Pontificia de Salamanca

las Ciencias experimentales, la materia no es contínua y homogénea, sino discontínua y heterogénea; los cuerpos materiales se hallan compuestos de pequeñas partículas llamadas moléculas, separadas por grandes espacios vacíos.

A su vez, las moléculas tampoco son simples, sino que están compuestas de otras partículas más pequeñas aún, llamadas átomos, también separados entre sí en la molécula.

El tamaño de las moléculas es tan pequeño que, suponiéndolas esféricas, su diámetro, deducido por procedimientos muy diversos, es del orden de 10^{-8} cm. [9].

No obstante esta discontinuidad real de las moléculas y los átomos los cuerpos manifiestan siempre una perfecta unidad de acción lo que hace suponer en ellos un único principio operativo y, por consiguiente, una sola esencia; ello implica, evidentemente, una estrecha unión entre los componentes de las moléculas y aún de las moléculas entre sí, lo cual supone la existencia de ciertas fuerzas que produzcan y mantengan la unión entre todos los componentes del cuerpo, única manera de explicar y comprender la perfecta unidad operativa de los seres materiales.

Para comprender, pues, el comportamiento físico-químico de una sustancia es de la máxima importancia el conocer al detalle la estructura del átomo y de la molécula, es decir, número y clase de componentes que los integran, su disposición o estructura, fuerzas que los mantienen unidos, naturaleza e intensidad de las fuerzas que en ellos intervienen, etc.

Es claro que todos estos datos sólo nos los pueden proporcionar las Ciencias experimentales y a ellas acudimos con la más sana intención, pero, antes de nada, hemos de hacer una observación importante; si queremos proceder con cierta rigurosidad científica es preciso distinguir bien entre lo que los hechos experimentales manifiestan o de ellos puede deducirse de una manera directa e inequívoca y la interpretación que de esos mismos hechos hagan o puedan hacer los científicos, de acuerdo con ciertas teorías o hipótesis reinantes.

Lo primero tiene un valor científico innegable y es preciso tenerlo en cuenta siempre al hacer deducciones, tanto en el orden científico como en el filosófico; lo segundo no tiene más valor científico que el que tenga la hipótesis o teoría-base en que tal interpretación se apoya, por consiguiente, no tendrá más que un valor relativo, que estará siempre pendiente de la suerte que en el transcurso del tiempo corra la teoría base.

Recuérdese, por ejemplo, la errónea función que se atribuyó durante mucho tiempo al cerebelo por una interpretación superficial de ciertos hechos experimentales.

---

9. Cf. OLDEMBERG, *Introduction to Atomic Physics* (New Yord, 1949), p. 74.

Universidad Pontificia de Salamanca

Basándose, entre otras experiencias, en que una paloma sin cerebelo no puede mover sus alas y volar y que un perro sin cerebelo es incapaz de ponerse de pie y andar se creyó que el cerebelo era el centro motriz de los seres vivos y así se afirmó en libros y revistas.

Solamente cuando, años más tarde, un biólogo perspicaz y gran observador repitió las experiencias, con el mismo resultado, pero tuvo la feliz idea de lanzar al perro al agua para estudiar sus reacciones, pudo deshacerse el error.

El perro nadaba perfectamente en el agua y realizaba todos los movimientos necesarios para ello.

Relacionando unos y otros resultados llegó a la conclusión de que el cerebelo tiene solamente un papel tonificador; su misión es suministrar a los músculos la tonicidad o energía necesaria para desarrollar normalmente sus funciones, por eso, como el perro en el agua prácticamente pierde peso, debido al empuje, requiere un menor esfuerzo muscular para moverse en ella y puede hacerlo sin tener la debida tonicidad muscular, en cambio no puede andar sobre la tierra porque ello exige una mayor energía que debería ser suministrada por el cerebelo.

Una cosa son, pues, los hechos experimentales y otra muy distinta la interpretación que de ellos pueda hacerse.

Por otra parte no hay que olvidar que las teorías científicas solo intentan dar una explicación mecánica de los fenómenos, sin que les importe mucho lo que sea la realidad en sí; en esto estriba precisamente la diferencia fundamental entre las ciencias experimentales y la Filosofía.

El filósofo busca siempre la esencia de las cosas, la razón última de los fenómenos o de los cambios, estudia la Naturaleza por sus últimas causas, por eso los sistemas filosóficos o son verdaderos o son falsos, según hayan logrado captar o no la realidad en sí; en cambio el científico, puramente científico, no busca más que hacer comprensibles los fenómenos, estudiando sus causas próximas, el influjo en los mismos de determinados agentes, etc., y, como para ello le pueden ayudar en gran manera los artificios imaginativos, se crea un modelo, con cuyo comportamiento guardan cierta analogía los fenómenos que estudia, y a él le aplica sucesivamente las mismas leyes. Si existe una cierta concordancia entre la marcha del fenómeno y los cálculos por él realizados, de acuerdo con el artificio imaginativo, acepta éste y la hipóteis de que partió parece verosímil; en un trabajo ulterior aplica dicho modelo a otros fenómenos análogos y, si los resultados son satisfactorios, acepta como buena la hipótesis y la eleva a la categoría de teoría convirtiéndose ésta en un instrumento útil y bueno para el científico.

No importa que la realidad sea de otra manera, al científico sólo le interesa tener un medio apto para explicar y comprender la marcha de los fenómenos y esto lo encuentra en la teoría, con ello le basta.

Universidad Pontificia de Salamanca

Por eso en las teorías científicas no se mira si son verdaderas o falsas, sino si son buenas o malas, es decir, si sirven o no como instrumentos de trabajo que permitan el progreso científico, de ahí que para explicar unos mismos fenómenos se empleen a veces diversas teorías sin que ello implique científicamente contradicción alguna; tal ocurre, por ejemplo, con los fenómenos luminosos, algunos de los cuales se interpretan perfectamente con la teoría ondulatoria, mientras que otros solamente se comprenden en la teoría corpuscular de Einstein.

Hechas estas advertencias, veamos ahora lo que nos dicen las ciencias experimentales acerca de la estructura de las moléculas y sobre las fuerzas que en ellas intervienen.

La estabilidad y solidez de las moléculas revela, a simple vista que, los átomos que las integran no están meramente yuxtapuestos, como las naranjas de una banasta, sino que hay una cierta unión entre sus componentes, unión que se atribuye a ciertas fuerzas llamadas en conjunto «de *cohesión molecular*» y cuyo valor se ha determinado con bastante precisión para diferentes moléculas, llegándose a la conclusión de que su valor representa aproximadamente una fuerza equivalente a unas cien mil calorías, pero su naturaleza no ha sido aún bien estudiada como expondremos más adelante.

En cuanto a la estructura molecular, los datos experimentales son más abundantes y más precisos, gracias al estudio de las redes cristalinas mediante los espectros de rayos X.

Así, experimentalmente se ha deducido que la distancia entre los núcleos de los dos átomos de hidrógeno que integran la molécula de dicho elementos es de 0'75 angstrom, es decir, de unas 7 cienmillonésimas de centímetro [10] formando ambos átomos un verdadero dipolo eléctrico; el calor de disociación de la molécula de hidrógeno obtenido experimentalmente por Langmuir, es aproximadamente de 104.000 calorías [11].

El empleo de los rayos X ha permitido determinar con gran exactitud la composición y estructura de numerosos cuerpos cristalinos, logrando fijar la posición de cada átomo en el cristal, así como las distancias a que se hallan situados unos de otros.

El procedimiento se basa en los fenómenos de difracción que experimentan los rayos X al incidir sobre una lámina cristalina en la que los átomos que integran el cristal hacen las veces de los nudos de difracción de las redes cristalinas para provocar la difracción de la luz.

La interpretación adecuada de las fotografías obtenidas, llamadas «lauegramas» en honor a su descubridor Von Laue, permiten reconstruir rigurosamente el cristal y con ello la posición exacta de los átomos.

---

10 J. M. DEL BARRIO, *l. c.*, p. 26.
11. E. CALVET, *Química General*, t. 1, 2.ª ed. (Barcelona, 1945), p. 810.

Universidad Pontificia de Salamanca

Por este procedimiento se conoce actualmente la estructura, entre otros, del diamante (véase fig. 1.ª); cada átomo de carbono se une a otros cuatro átomos de carbono dispuestos en los vértices de un tetraedro, distantes de aquél 1'54 angstrom y formando entre sí un ángulo de 109° y 28'.

En el cristal de cloruro sódico los átomos de cloro y sodio se hallan situados en los vértices de un cubo, de tal manera que cada átomo de cloro

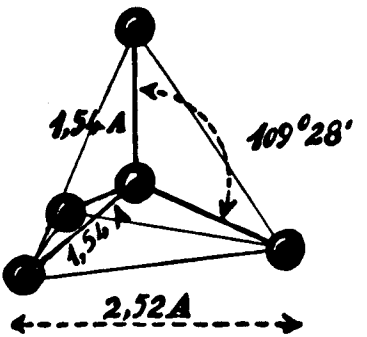


Fig. 1.ª

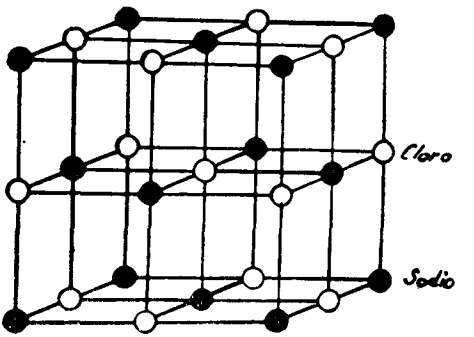


Fig. 2.ª

se halla rodeado de seis átomos de sodio y recíprocamene, como puede verse en la figura 2.ª.

Los ejemplos podían multiplicarse, pero para nuestro objeto, nos basta con los expuestos; en cualquier manual de Física atómica puede verse la estructura de otros muchos cristales y a ellos remitimos al lector interesado.

Estos son los hechos ciertos y plenamente comprobados experimentalmente en cuanto a la estructura de las moléculas, los átomos no están en contacto, sino separados entre sí y guardan siempre en los cristales y aún en la molécula una cierta simetría en su disposición interna, de la cual es un reflejo la simetría externa del cristal, es decir, su forma geométrica.

Algunos hechos experimentales permiten afirmar que las moléculas, especialmente en los líquidos y en los gases están dotadas de un movimiento vibratorio de determinada frecuencia, que, debido a las cargas eléctricas de los átomos que las integran, poseen un cierto momento magnético [12], que ciertas moléculas (de ácidos, bases y sales) se hallan compuestas de dos iones con cargas eléctricas de signo contrario (moléculas heteropolares) mientras que otras (moléculas homopolares) no presentan tales iones.

---

12. As determining elements of molecules, therefore, besides the total carge *e*, the nuclear distances and the molecular volume, we have also now before us the dipole and cuadrupole moments, as wei as the polarizability». MAX BORN, *Atomic Physics* Fourt ed. (Fondon and Glasgow, 1946), p. 242.

Universidad Pontificia de Salamanca

Pasemos ahora a examinar lo que se conoce acerca de las fuerzas moleculares.

En primer lugar se puede afirmar que en la unión de los átomos en la molécula intervienen fuerzas eléctricas [13], esto es indudable por lo que se refiere a los compuestos heteropolares en cuya molécula los átomos están ya en forma de iones [14] y probablemente también para las otras moléculas merced a una distribución asimétrica de las cargas en forma de dipolos o cuadrupolos [15]. En ambos casos la unión se explica por la ley de Coulomb.

Además de las fuerzas de tipo eléctrico se admite hoy por los físicos que en la formación de las moléculas intervienen otras fuerzas de distinta naturaleza como son las fuerzas de gravitación, cuyo valor es casi despreciable debido a la pequeñez de las masas, las fuerzas de Van der Waals, fuerzas de cohesión y fuerzas y potencial de Morse, pero apenas se sabe nada concreto acerca de la naturaleza de cada una de ellas.

En cuanto a las fuerzas de Van der Waals parece que tienen su origen en la deformación mutua de los átomos al formar un dipolo o cuadrupolo eléctrico [16] [17].

Las fuerzas de cohesión son menos conocidas aún, si bien se consideran distintas de las de Van der Waals. «Además de las fuerzas entre dipolos moleculares existen fuerzas atractivas entre los átomos de una molécula, o bien entre sus iones, por distintas causas, a veces un poco complejas. Se llaman fuerzas de cohesión. No es muy clara su delimitación con las de Van der Waals» [18].

Resumiendo lo expuesto podemos afirmar que existen unas fuerzas que ligan estrechamente los átomos en la molécula y dan a ésta una perfecta unidad, pero se desconoce aún la verdadera naturaleza de las mismas, si bien parece muy probable que en su mayor parte son de origen electromagnético ya que los componentes del átomo (protones y neutrones) llevan cargas eléctricas que deben cumplir la ley de Coulomb.

Creemos, sin embargo, que los físicos no han tenido en cuenta un factor muy importante que, lógicamente, debe intervenir también en la

---

13. LEONARD B LOEB, *Atomic structure* (New Yord, 1947), p. 303: «The attractive forces holding atoms in a molecule are primarily electrical».

14. MAX BORN, *Atomic Physics* (London, 1946), p. 261: «The extreme case of this type of binding is that in which the atoms are charged even in the molecule, so that they are present as ions; the binding is then explained by their Coulomb attraction».

15 LEONARD B. LOEB, *loc. cit.*, p. 303: «In others cases, the forces are due to unsymmetrical arrangements of charges in the form of equivalent dipoles, quadrupoles, etc., or else dipoles induced by temporary unsymmetrical fluctuations of carge distribution».

16. MAX BORN, *loc, cit.*, p. 267: «The Van der Waals cohesion forces depend on the mutual deformation of the atoms, and that in two different ways. First, the action of the field which emanates from the permanent dipole or quadrupole, on the dipole induced in the other molecule by that field, leads on the average to an attraction».

17. F. RAMÓN Y FERRANDO, *Física* (Madrid, 1953), p. 151: «La atracción que dos dipolos tienen entre sí, es lo que constituye las fuerzas llamadas de Van der Waals».

18. F. RAMÓN Y FERRANDO, *l. c.*

Universidad Pontificia de Salamanca

unión de los átomos en la molécula, nos referimos al campo electromagnético propio de cada átomo, creado como consecuencia del movimiento de los protones y electrones que integran el núcleo. Ya algunos físicos se han fijado en el campo magnético que debe tener el núcleo, pero quizá no han sabido sacar las consecuencias oportunas. A este respecto dicen Lapp y Andrews: «Antes de abandonar el tema de la estructura nuclear tocaremos brevemente las propiedades magnéticas del núcleo y de las partículas nucleares. Si consideramos una partícula, por ejemplo un electrón, como una pequeña esfera con carga eléctrica que gira alrededor de su eje, el movimiento de dicha carga eléctrica debe producir un campo magnético, pues una corriente eléctrica produce un campo magnético. Goutsmit y Uhlenbeck fueron los primeros en reconocer que un electrón tiene un spín intrínseco propio y un campo magnético asociado o para ser más exactos, un momento magnético propio... Si consideramos el protón como una peonza con carga eléctrica positiva y un determinado momento angular, entonces el protón debe tener también un determinado momento magnético. Efectivamente, un protón debe exhibir la conducta magnética característica de un dipolo pequeño (infinitesimal) [19].

Refiriéndose a la corteza o envoltura electrónica que rodea al núcleo atómico dice Heisemberg: «El espacio en el interior de la corteza, entre los electrones, está vacío y en él pueden penetrar sin dificultad pequeñas partículas; no obstante contiene algo: el campo electromagnético que, como una argamasa, enlaza las partes constitutivas de la corteza atómica del núcleo [20].

L. B. Loeb hace resaltar también la importancia del momento magnético del núcleo para entender todas las cuestiones relacionadas con la estructura del átomo y de la molécula. «El momento del spín —dice— y el momento magnético que le acompaña son de gran importancia en todos los fenómenos magnéticos, en todos los fenómenos donde interviene un

19 «Before leaving the subject of nuclear structure, we touch briefly upon the magnetic properties of the nucleus and nuclear particles. If we regard a charged particle, say an electron, as a tiny sphere of electric charge that spins rapidly about its axis, then it follows that this motion of electric charge should produce a magnetic field, for an electric current is merely charge in motion, and it is well known that currents produce magnetic fields. Goudsmit and Uhlenbeck first recognized that an electron has its own intrinsic spin aud associated magnetic field or, to be more exact, its own magnetic moment... If we regard the proton as a spinning sphere of positive electric charge that has a definite angular momentum, then the proton should likewise have a definite magnetic moment. In effect, a proton should exhibit the magnetic behavior characterictic of a small (infinitesimal) dipole». (LAPP AND ANDREWS, *Nuclear radiation physics* (New York, 1949), p. 151.

20. «For although the space between the electron shells is empty (fast particles can penetrate it without any difficulty) yet it contains somethingthe electric field, which, to use an analogy, acts like the mortar that binds the building blocks of the extranuclear structure of the atom to the nucleus». WERNER HEISEMBERfl, *Nuclear Physics*, (Methuen, London, 1953), p. 58.

Universidad Pontificia de Salamanca

campo eléctrico o magnético y especialmente en todas las cuestiones de estructura atómica o molecular» [21].

De lo expuesto se deduce claramente que tanto los protones nucleares como los electrones corticales que constituyen los átomos poseen un movimiento de rotación o «spín», que, por contener dichas partículas cargas eléctricas, debe producir un campo magnético propio, junto con el campo eléctrico que tiene ya la partícula, es decir, cada una de estas partículas debe crear un campo electromagnético en torno suyo; ahora bien, dada la proximidad de dichas partículas en el interior del átomo y, de acuerdo con las leyes de la electrodinámica, todos estos campos deben componerse entre sí, como ocurre con los imanes artificiales, dando como resultante un único campo electromagnético propio y característico de cada átomo que, a nuestro juicio, debe ser el único responsable del comportamiento físico-químico de dicho átomo, ya que los fenómenos físico-químicos se reducen a un mero intercambio de energía.

Así mismo parece lógico suponer que, al reaccionar dos elementos químicamente, como para ello es imprescindible que sus átomos se acerquen a una distancia mínima, los campos electromagnéticos de los átomos reaccionantes deben influenciarse mutuamente, deformándose hasta terminar formando un único campo electromagnético resultante que liga entre sí los dos átomos, dando una perfecta unidad al compuesto resultante.

Pese a ser tan clara y lógica esta doctrina es lo cierto que no hemos encontrado aún un solo autor que la haya formulado expresamente; ha habido, sí, tentativas para aplicar la teoría de los campos a los núcleos atómicos con el fin de explicar la naturaleza de las fuerzas nucleares [22], pero ignoramos por qué no se han aplicado también dichas teorías al átomo mismo. Quizá la razón principal estribe en la imposibilidad en que nos hallamos de estudiar experimentalmente estos campos electromagnéticos infinitesimales de los átomos así como la complejidad de cálculos que ello encierra, sin embargo, para nosotros ello no supone obstáculo alguno, pues, para nuestro objeto, nos basta con admitir que de hecho se da dicho campo electromagnético nuclear y que él es el responsable de la estabi-

21. «The spin moment and its accompany ing magnetic moment are of great importance in all magnetic phenomena, in all phonemena where there is an electrical or magnetic field, and especially in all questions of atomic or molecular structure». LEONARD B. LOEB, *Atomic structure* (New York, 1947), p. 35.

22. G. GAMOW AND CRITCHFIELD, *Theory of atomic nucleus and nuclear energysources*. Third ed. (Oxford, 1949), p. 53: «In this chapter we shall review the attemps to «explain» the nuclear forces in the sense that one explains the forces between two electric charges by introducing the concept of an electric field. The, instead ob the charges acting directly on each other when they are not in contact, one charge acts as a source of electric fieild strength by distourting the field at a certain point in space; this distortion is then transmitted by the field, which is to be considerated a separate physical system, to the position of the otter charge. The interaction between the field and the second charge then produces the observed acceleration. Hence we are concerned with possible *field theories* of the nuclear forces.

Universidad Pontificia de Salamanca

lidad y solidez de los átomos y las moléculas, así como de la unidad de acción de los cuerpos compuestos.

Para terminar con lo referente a la estructura de las moléculas daremos una ligera idea de los modelos propuestos, se trata, pues, de una *explicación mecánica,* para explicar la formación de las moléculas.

Volvamos de nuevo a la molécula de hidrógeno, formada, como se sabe, por dos átomos de hidrógeno. El átomo de hidrógeno consta de un protón en el núcleo y un electrón en la envoltura electrónica.

Pues bien, según la teoría de Kosel, basada en el modelo atómico de Bohr, la unión entre los dos átomos de hidrógeno se efectúa mediante los dos electrones; los dos núcleos de hidrógeno estarían rodeados por los dos electrones girando en una sola órbita. Véase la figura 3.ª.

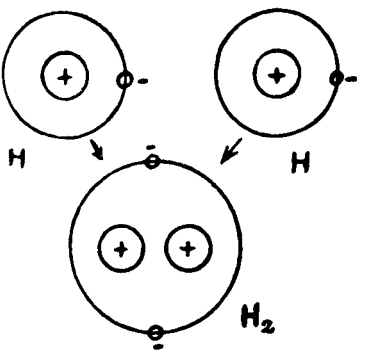


Fig. 3.ª

La unión entre los átomos es, pues, puramente accidental, el núcleo de cada átomo, que es la parte esencial, se conserva intacto en la molécula y, por consiguiente, puede afirmarse que los átomos conservan su individualidad en la molécula, lo cual ha servido de base para negar la existencia de verdaderos cambios sustanciales.

Basándose en este modelo de la molécula de hidrógeno, Bohr intentó deducir las condiciones de equilibrio dinámico de la misma, pero sus resultados difieren notablemente de los obtenidos experimentalmente ya que, según Bohr, el calor de formación de la molécula de hidrógeno debería ser de 68.000 calorías, mientras que experimentalmente Langmuir halló el valor de 104.000 calorías [23].

Ante el fracaso del modelo de Bohr se intentó aplicar la mecánica ondulatoria a la formación de las moléculas y, en 1926 Heitler y London lograron un modelo de molécula de hidrógeno que se ajusta más a los hechos experimentales.

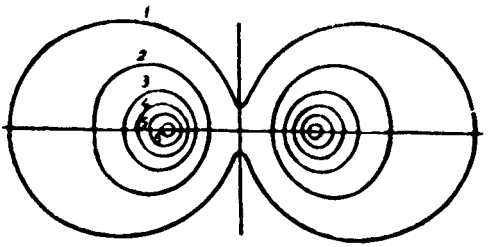
23. E. CALVET, *Química General,* t. I, 2.ª ed. (Barcelona, 1945), p. 810.

Universidad Pontificia de Salamanca

Partiendo de este modelo ondulatorio se calculó el calor de formación de la molécula de hidrógeno que resultó ser de 102.000 calorías, es decir, un valor muy aproximado al obtenido experimentalmente, lo cual revela que esta teoría interpreta mejor la realidad.

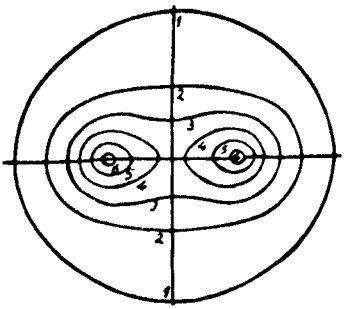
Lo fundamental de este modelo ondulatorio consiste en que sustituye las órbitas de Bohr por ondas o capas de igual densidad y, en lugar del electrón que recorre su órbita, pone ondas eléctricas, cuya densidad, en cada punto, obedece a leyes puramente estadísticas [24].

En las figuras (4) y (5) damos una idea de los modelos de las moléculas de ortohidrógeno y parahidrógeno según la mecánica ondulatoria, la



Ortohidrógeno

Fig. 4.ª



Parahidrógeno

Fig. 5.ª

primera asimétrica, la segunda simétrica, de acuerdo con las teorías del spín de Dirac y de acuerdo también con los hechos experimentales.

Este modelo ondulatorio de las moléculas parece que interpreta bastante bien la realidad, ya que algunas de las fotografías de macromoléculas orgánicas obtenidas con el microscopio electrónico alemán, destruido, desgraciadamente para la Ciencia, al capitular Alemania, revelan la existencia de un campo de fuerzas electromagnético que une íntimamente los átomos entre sí.

En la fotografía adjunta (fig. 6.ª) puede verse un facsímil, hecho a mano, de una de dichas fotografías aparecida en una revista alemana en el año 1943, así como la estructura probable de dicha molécula según los químicos.

En el original aparecían muchas más líneas de fuerzas uniendo entre sí los átomos, que no era posible reproducir a mano.

Las dificultades surgidas durante la pasada guerra mundial me han impedido identificar dicha revista, un fragmento de la cual cayó casualmente en mis manos, pero creo que no sería aquella la única fotografía

24. *Ibidem*, p. 812.

Universidad Pontificia de Salamanca

obtenida y es de esperar que los modernos microscopios electrónicos permitirán pronto obtener fotografías directas de las moléculas que nos permitan conocer más al detalle la constitución íntima de las moléculas y aún de los átomos.

Obsérvese en dicha fotografía cómo las líneas de fuerza ligan primero dos átomos, después otras líneas envuelven a tres o cuatro y nuevas líneas van envolviendo a estos grupos terminando por quedar todos envueltos por otras líneas de fuerza que dan lugar a la formación de un único campo electromagnético.

Es de resaltar la transcendental importancia de estas fotografías obtenidas con el microscopio electrónico, por ser este el único instrumento

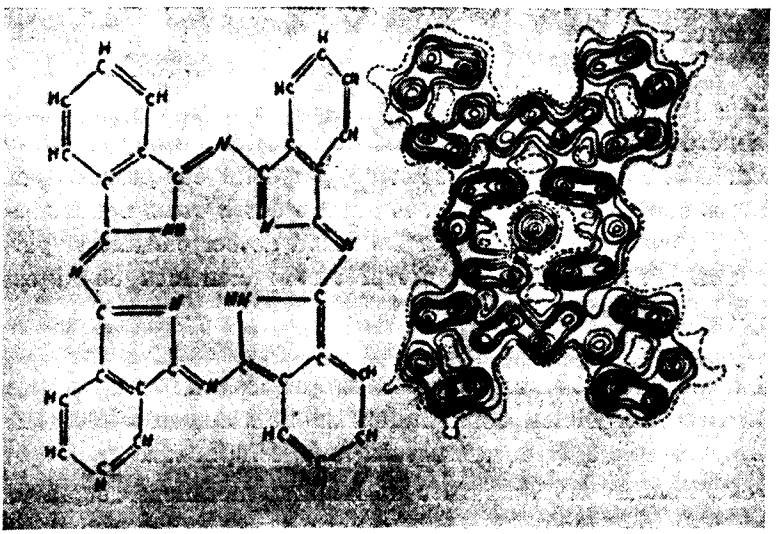


Fig. 6.ª

óptico sensible a un campo eléctrico o magnético y, por consiguiente, el único capaz de reaccionar adecuadamente ante la presencia de fuerzas electromagnéticas atómicas, pues los microscopios ordinarios y los espectros de rayos X son incapaces de revelarnos la existencia de dichas fuerzas, razón por la cual en los «lauegramas» aparecen los átomos separados entre sí, pero no son visibles las fuerzas que los ligan; no hay, pues, contradicción alguna entre dichas fotografías, antes al contrario, se armonizan perfectamente si se admite la existencia de un campo electromagnético entre los átomos de la molécula.

En resumen, hoy por hoy, se puede afirmar que desconocemos casi por completo la verdadera estructura de las moléculas; ciertamente se van acu-

Universidad Pontificia de Salamanca

mulando datos muy interesantes, descubiertos a costa de profundas y laboriosas investigaciones, pero, preciso es confesar que estamos aún muy lejos de llegar a penetrar en el verdadero secreto de la estructura molecular.

V.

Estructura del átomo

Antes de pasar a estudiar la estructura del átomo conviene recordar lo dicho en el párrafo anterior, es decir, que conviene distinguir bien entre lo que revelan directamente los hechos experimentales, lo que de ellos puede deducirse de una manera lógica y legítima y la interpretación más o menos mecánica que de esos hechos se pueda dar o las consecuencias que de ellos se puedan deducir, basándose en ciertas teorías más o menos verosímiles.

De acuerdo con esto, expondremos primero lo que hoy se admite como cierto acerca de la estructura del átomo, por estar comprobado por numerosos hechos experimentales, después aludiremos a otras deducciones científicas que parecen tener cierta probabilidad de ser ciertas, y, por último, daremos una breve idea de la interpretación científica de la estructura del átomo.

En primer lugar, los fenómenos de radioactividad y de desintegración artificial de los núcleos han demostrado que los átomos no son macizos, homogéneos e indivisibles, como indica su nombre, sino que son discontinuos, muy complejos y de estructura muy complicada.

Las experiencias de bombardeo de láminas metálicas delgadísimas con partículas alfa realizadas por Rutherford [25] y confirmadas después por Geiger y Marsden indujeron a Rhuterford a formular la hipótesis de que el átomo debe tener grandes espacios vacíos, mientras que su masa estaría concentrada en la parte central; según esto, el átomo debe constar de una parte central, llamada núcleo, y de la corteza, formada exclusivamente por electrones.

El núcleo atómico, según revelan los fenómenos de desintegración nuclear, está compuesto exclusivamente de protones (partículas materiales con carga eléctrica positiva) y neutrones (partículas materiales sin carga) [26].

Cada núcleo atómico contiene un número de protones igual al número

25. Cf. E. CALVET, *Química General*, t. I, 2.ª ed. (Barcelona, 1945), p. 569 s.

26. W. HEISEMBERG, *Nuclear Physics* (London, 1953), p. 60: «Form the above conclude that only the protons and the neutrons may be regarded as true building blocks of the nucleus».

Universidad Pontificia de Salamanca

atómico del elemento a que pertenece y un número de neutrones igual a la diferencia entre el peso atómico y el número atómico [27].

La corteza o envoltura electrónica del núcleo está compuesta de un número de electrones (partículas con carga eléctrica negativa) igual al número atómico del elemento respectivo, así lo exige el estado eléctricamente neutro con que se presentan normalmente los átomos en la Naturaleza [28].

Según el modelo Rutherford-Bohr del átomo, éste debe ser un verdadero sistema planetario en miniatura [29] en el que los electrones giran en torno al núcleo, describiendo órbitas circulares o elípticas, como los planetas giran alrededor del Sol, sin embargo, falta la comprobación experimental de tal distribución de los electrones en equilibrio dinámico, lo único cierto es que no todos los electrones de la envoltura electrónica tienen la misma energía; los espectros de emisión revelan, efectivamente, que en un mismo átomo hay electrones con diversos niveles de energía, lo cual encuentra una fácil interpretación en el modelo atómico de Bohr, al distribuir los electrones en órbitas más o menos alejadas del núcleo, pero la mecánica ondulatoria logra dar una explicación más lógica y razonable de dichos diferentes niveles de energía, sin necesidad de hablar de órbitas y de pisos y subpisos.

En cuanto a la estructura del núcleo podemos decir que, pese a los grandes progresos realizados en los últimos años, se halla envuelta aun en el mayor de los misterios; está fuera de toda duda que está compuesto de protones y neutrones, pero se ignora su distribución en el interior del núcleo y la naturaleza de las fuerzas que los mantienen unidos.

Actualmente se admite como cierto, y en ello se basan diversas teorías para explicar la naturaleza de las fuerzas nucleares (teoría de Heisemberg, teoría de Yukawa), que en el núcleo se forman tantos pares protón-neutrón como sean posibles [30]; así mismo se admite que cada dos pares protón-neutrón se unen a su vez para formar una partícula alfa, formándose también en cada núcleo el mayor número posible de dichas partículas [31] y probablemente también cada tres o cuatro partículas alfa se unen entre sí para formar una unidad superior (un núcleo de carbono o un núcleo de oxígeno [32] y posiblemente también estas unidades superiores se agrupan

27. Cf. GEORGE GAMOW, *La energía atómica* (Argentina, 1947), p. 37.
28. Cf. W. HEISEMBERG, *Nuclear Physics* (Londres, 1953), p. 60.
29. LUIS DE BROGLIE, *Materia y luz*, 4.ª ed. (Espasa-Calpe, Argentina, 1945), p. 75.
30. Cf. W. HEISEMBERG, *Nuclear Physics*, p. 91 s.
31. F. RAMÓN Y FERRANDO, *Física* (Madrid, 1953), p. 361: «Lo expuesto permite suponer que los nucleones del núcleo se agrupan formando celdas muy estables que son las partículas alfa, las cuales a su vez se enlazan entre sí por fuerzas de canje relativamente débiles».
32. G. GAMOW AND C. L. CRITCHFIELD, *The Theory atomic nucleus...* (Oxford, 1949), p. 177: «Spontaneus emission of nuclear fragments heavier than alfa particles by various radiactive elements is also energically posible process and the failure to observe the emission of C particles (carbon nuclei) or O-particles in spontaneous decay of heavy elements must be ascribed entirely to the low probability of such processes. The

Universidad Pontificia de Salamanca

nuevamente para formar unidades de orden superior, como parecen confirmar los fenómenos de fisión nuclear.

Unicamiente así se comprende la gran estabilidad de los núcleos atómicos y la sólida unión entre sus componentes; sin duda ocurre aquí algo parecido a lo que sucede en arquitectura, cuanto mayor y más complicado es un edificio, mayores y más fuertes y robustas han de ser las piezas clave que sujetan y dan solidez a las distintas piezas o departamentos del edificio y no debemos olvidar que Dios es el Gran arquitecto del mundo.

De las citadas experiencias de bombardeo de los núcleos se deduce también que los núcleos atómicos están protegidos por una barrera de potencial positivo, debido a la carga eléctrica de los protones que integran el núcleo [33] que debe traducirse en un campo eléctrico de determinada intensidad.

Un nuevo dato que nos suministra alguna información acerca de la estructura del núcleo es el estudio de los rayos gamma emitidos por los cuerpos radioactivos, que tienen su origen en el núcleo. La energía de estos rayos gamma, verdaderos rayos X, pero de mayor frecuencia y, por tanto, de mayor poder de penetración, varía notablemente, según las circunstancias; esto induce a suponer la existencia en el núcleo de diversos estados energéticos, es decir, que no todos los nucleones (protones o neutrones) tienen la misma energía.

Para explicar el origen de los rayos gamma, de diversa energía, procedentes del núcleo atómico, Thibaud, al que sigue también Gamow, se imagina al núcleo como un pozo de forma cónica en cuyo interior, a diversas alturas, girarían a grandes velocidades, los nucleones, lo que equivale a un modelo nuclear análogo al de Bohr para la envoltura electrónica; es decir, los nucleones estarían distribuídos en pisos y subpisos en el interior del núcleo y los rayos gamma se producirían al saltar un nucleón de un piso a otro [34].

Como puede advertirse fácilmente no se trata más que de una interpretación mecánica de la estructura del núcleo para facilitar una explicación de determinados hechos experimentales, pero que no parece estar muy de acuerdo con lo que hemos dicho anteriormente acerca de la formación en el núcleo de partículas alfa y otras unidades superiores.

El mismo G. Gamow para explicar la naturaleza de las fuerzas nucleares y la posibilidad de liberar energía de los núcleos propuso la llamada «teoría del flúido nuclear». «La suposición —dice— de que las fuerzas actuantes entre las partículas que constituyen un núcleo atómico

---

fact that there are only 10^{-112} carbon and 10^{-140} oxigen nuclei emitted per one alfa-particle easily explains the failure to observe the emission of the heavier nuclei».

33. Cf. GEORGE GAMOW, *La energía atómica*, (Buenos Aires, Editorial Sudamericana, 1947), p. 63.

34. Cf. E. CALVET, *Física General*, 2.ª ed., t. I, (Barcelona, 1945), p. 727.

Universidad Pontificia de Salamanca

son similares a las que actúan entre las moléculas de un líquido ordinario, condujo al autor de esta obra en 1930, a la formulación del *modelo de la gota* para un núcleo atómico, de acuerdo con la cual los diversos núcleos se consideran como gotitas de un «flúido nuclear» universal» [35].

Mediante esta teoría del flúido nuclear Gamow logra hacer comprensibles los fenómenos de «fusión» y «fisión nuclear», pero, sin embargo, su teoría no dice nada concreto acerca de la naturaleza de las fuerzas nucleares.

Esto es lo que los hechos experimentales nos permiten afirmar acerca de la distribución y disposición de los nucleones en los núcleos atómicos, pero aún nos queda por conocer la parte más fundamental e interesante, la naturaleza e intensidad de las fuerzas que mantienen unidos estrechamente a dichos corpúsculos en el núcleo. «Quedan todavía muchas cuestiones dudosas —dice a este propósito Max Born— todas íntimamente relacionadas entre sí que dependen en último análisis de la cuestión relativa a la estructura del núcleo» [36].

VI

Naturaleza de las fuerzas nucleares

Indudablemente pasaron ya los tiempos del mecanicismo científico [37], los progresos realizados en los últimos 30 años en la investigación nuclear han puesto de manifiesto que el átomo no es una partícula inerte, sino que es una fuente considerable de energía almacenada en grandes cantidades en su interior que en un futuro próximo el hombre podrá utilizar para fines pacíficos. El estudio de las llamadas «reacciones nucleares» y los trabajos sobre «estabilidad nuclear» iniciados por N. Bohr y J. A. Wheeler en 1939 [38] y continuados después por los físicos más eminentes de todo el mundo han puesto de manifiesto la existencia en el núcleo atómico de unas fuerzas de cohesión extremadamente fuertes, junto con ciertas fuerzas de repulsión, de cuyo equilibrio depende la mayor o menor estabilidad de los núcleos atómicos.

Si se conociera al detalle la estructura nuclear podría deducirse fácilmente la naturaleza e intensidad de las fuerzas que intervienen en el núcleo, pero, por desgracia, como hemos visto, se desconoce aún la ver-

35. GEORGE GAMOW, *La energía atómica*, p. 46.
36. MAX BORN, *Atomic Physics*, p. 269.
37. La mecanique deduite des faits du marcrocosme est incapable d'expliquer et d'interpreter tous les phenomenes de microcosme; d'autres elements entrent en jeu qui echappent a toute explication de nature mecaniste». Pío XII, *Allocutio ad Excmos. Pont. Academiae Scientiarum Socios*: A.A.S., 47 (1955), 399.
38. GEORGE GAMOW, *La energía atómica* (Edit. Sudamericana, 1947), p. 53.

Universidad Pontificia de Salamanca

dadera estructura del núcleo, de ahí, que su investigación debe hacerse por otros caminos más asequibles [39] que nos puedan llevar a un conocimiento más detallado de la estructura nuclear.

El problema, sin embargo, es muy difícil y complejo [40] y será necesario aún mucho tiempo para lograr obtener una información eficiente acerca de la naturaleza de las fuerzas nucleares; la fuente principal de información de las fuerzas nucleares nos la ofrecen los fenómenos de choques entre nucleones o entre éstos y los núcleos mediante los llamados «bombardeos atómicos» [41] que permiten ir destruyendo poco a poco el núcleo. El caso es semejante al de un general que tiene frente a sí una fortaleza enemiga, cuya estructura interna le interesaría conocer, El único medio de que dispone para ello es bombardear la fortaleza e ir destruyéndola poco a poco con lo que por los boquetes abiertos podrá ir obteniendo información de su distribución y estructura.

Pese a todos los esfuerzos y progresos realizados, es lo cierto, sin embargo, que aún queda muchísimo camino por recorrer, las fuerzas nucleares se hallan envueltas en el mayor de los misterios [42], por ello nos limitaremos a resumir lo que los hechos experimentales revelan y después daremos una breve idea de la explicación científica de las mismas.

Hemos dicho ya que en el núcleo deben formarse tantos pares protón-neutrón como sean posibles; ahora bien, la unión de un protón y un neutrón da origen a un átomo de deuterio, síntesis que ha sido verificada ya en el laboratorio y que, por tanto, permite medir la eenrgía que en dicha síntesis interviene.

La energía liberada en este proceso de síntesis del deuterio es de 2 a 3 M.e.v. (millones de electrón voltio) y tiene lugar una pérdida de masa de 0'0024 a.m.u. (unidades de masa atómica) debido al «packing effect» de

---

39. W. HEISEMBERG, *Nuclear Physics*, p. 67: «Since we are still unfamiliar with the details of nuclear structure, we are unable to calculate the binding energies from the nuclear properties. We must therefore attemp, conversely, to ascertain the magnitudes of binding energies by other methods, in order to use them as a basis for drawing conclusions about the properties of the nucleus».

40. W. HEISEMBERG, *Ibidem*, p. 102: «These considerations show also that the problem of the relationship between nuclear forces and the elementary particles regarded as being lonked with them is a very complex one, which cannot be resolved for many more years to come».

41. GAMOW AND CRITCHFIELD, *Teory of atomic nucleus*, p. 33: «A more detailed knowledge of the laws of these forces which is important for understandig of their intrinsic nature as well as for the developement of the complete theory of composite nuclei, can be obtained best from the experimental study of the collisions between individual nucleons».

42. LAPP AND ANDREWS, *Nuclear radiation physics* (New York, 1949), p. 149. «The short-range nuclear forces that have been introduced into the discussion are known in quantum mechanics as resonance forces or *excange forces*. These forces are not understood, and much of the current reseatch in physics is directed toward understanding the nature of the interactions between nucleons».

Universidad Pontificia de Salamanca

Aston, que expresada en energía, de acuerdo con la fórmula de Einstein, equivale a unos 2'2 M.e.v. [43].

También se ha conseguido en el laboratorio la reacción inversa, es decir, la desintegración del deuterio en un protón y un neutrón mediante el bombardeo de aquél con rayos gamma. De la energía de los rayos gamma empleados se dedujo la energía de enlace del par protón-neutrón y esta energía resulta ser del orden de 2 a 3 M.e.v., lo que representa una energía de enlace extraordinariamente grande dado el tamaño pequeñísimo de las partículas que une.

Partiendo del «packing effect» de Aston se deduce que la energía de enlace de la partícula alfa, compuesta de dos pares protón-neutrón, equivale a 28 M.e.v. [44] lo cual justifica su gran estabilidad y da idea de las poderosas fuerzas nucleares que ligan entre sí los constituyentes del átomo.

El análisis de los procesos de las reacciones nucleares permite hacer un cálculo aproximado de la intensidad de las fuerzas nucleares.

Así al bombardear el litio con protones, cuya energía es de 0'5 M.e.v. se obtienen dos átomos de helio que salen lanzados con una energía cinética en conjunto de unos 17 M.e.v. [45]. Esta energía liberada representa parte de las fuerzas nucleares que ligaban a los nucleones del litio que, al formarse las dos partículas alfa, quedan en libertad.

La desintegración total del uranio hasta convertirse en radio-plomo libera una cantidad de energía tal que la transformación de un kilogramo de uranio produciría unos 6 millones de kilowatios-hora. Esta energía liberada representa indudablemente la energía de enlace de las partículas alfa liberadas en dicho proceso, es decir, una parte de las fuerzas nucleares que intervienen en el núcleo de uranio.

Los fenómenos de fisión nuclear ponen de manifiesto aún más claramente la intensidad enorme de las fuerzas nucleares; así la fisión de un kilogramo de uranio, es decir, la rotura del núcleo en dos o más fragmentos, libera una energía equivalente a unos 20 millones de kilowatios-hora, o sea, la energía correspondiente a 2.500 toneladas de carbón al arder [46].

En resumen, los hechos experimentales revelan la existencia de fuerzas nucleares intensísimas en los núcleos atómicos, cuya misión es dar

---

43. W. HEISEMBERG, *Nuclear Physics*, p. 70: «In this process (sintesis del deuterio) the binding energy ob the deuteron is liberated, and in conformity the law of the conservation of energy it must still exist somewhere-in other words, it mus go somewhere, in some form. The most logical assumption is that it leaves in the form of an electromagnetic radiation, namely, as gamma radiation of an extremely sort wavelength».

44. F. RAMÓN Y FERRANDO, *Física*, p. 361: «Esta energía se llama energía de enlace; vale para el deuterio 2, 3 M.e.v.; para la partícula alfa, 28 M.e.v.

45. Cf. J. M. DEL BARRIO, *Las fronteras de la Filosofía y la Física*, t. I (Santander, 1945), p. 101.

46. Cf. IGNACIO PUIG, *La energía nuclear* (Barcelona, 1954), p. 28.

Universidad Pontificia de Salamanca

unidad y estabilidad a los núcleos; veamos ahora qué se puede afirmar acerca de su naturaleza, según los datos que nos proporciona la experiencia.

En primer lugar, parece claro que las fuerzas atractivas entre nucleones no pueden ser eléctricas, por la sencilla razón de que, como el neutrón carece de carga eléctrica, las fuerzas eléctricas no podrían producir la atracción entre el par protón-neutrón; por el contrario, las fuerzas eléctricas que actúan en el núcleo, debidas a las cargas positivas de los protones son repulsivas entre los protones y de gran intensidad, según la ley de Coulomb. Esto exige, por tanto, la existencia de otras fuerzas atractivas que contrarresten y aún superen la acción de las fuerzas repulsivas; estas fuerzas suelen llamarse «fuerzas nucleares» o «campo nuclear» [47].

Podemos, por tanto considerar —dice Heisemberg— a la energía contenida en el núcleo como la suma de tres componentes. La mayor parte de esta energía procede de las *fuerzas nucleares* que producen la cohesión de los núcleos. Esta energía está modificada por la fuerza de *tensión superficial* del núcleo. Finalmente una parte de dicha energía total procede de las *fuerzas de repulsión eléctrica* [48].

Por consiguiente, las fuerzas atractivas que actúan entre los nucleones y designadas con el nombre genérico de fuerzas nucleares, no son de naturaleza eléctrica, aparte de las razones señaladas, porque solo actúan a distancias muy pequeñas (de 2 a 3.10^{-13} cm.) y por su propiedad de saturación [49], esto hizo concebir al físico japonés Yukawa la idea de que en el núcleo debe actuar un nuevo campo desconocido, análogo al campo electromagnético, pero de naturaleza distinta, del cual trataremos a continuación.

La idea fundamental de Yukawa consiste en sustituir el campo electromagnético, previsto por Heisemberg, para la unión del par protón - neutrón, por un nuevo campo de fuerzas llamado «campo mesónico» [50].

---

47. W. HEISEMBERG, *Nuclear Physics*, p. 60: «We have still inquire into the nature of the force which binds these building blocks of the nucleus together. It would seem logical to assume that this field, like the one witnin the extranuclear structure, is electrical. It is, however, easy to show that electric forces alone would not be sufficient to provide an explanation of the nuclear cohesión, for the simple reason that the strongest electric effects are due to the charges carried by the protons, and these are forces of repulsion. Therefore, a furter field of anoter type mus be operative in the nucleus. For lack of a more exact knowledge of the nature of this field led us first give it a name, and call it nuclear field».

48. W. HEISEMBERG, *La Fisica del núcleo atómico*, versión españ. (Madrid, 1954), p. 97.

49. MAX BORN, *Atomic Physics*, p. 45: «They are very closely packed, their average distance being only 2 to 3.10^{-13} cm. What, we may ask, keeps the protons and neutrons so close together? There mus be some sort of attractive force between them. This cannot be of electrical nature, because the neutron has no charge and is therefore insensitive to electrical fields. Thus Yukawa concluded that a new kind of field must exist, analogous to the electromagnetic field but different in nature, which is responsible for the attraction between a proton and a neutron.

50. Cf. MAX BORN, *Atomic Physics*, p. 47 s.

Universidad Pontificia de Salamanca

El razonamiento de Yukawa se basa en las siguientes ideas. Toda interacción a distancia entre dos partículas exige la existencia de un campo intermediario, de acuerdo con el principio de causalidad; así la interacción entre dos electrones se verifica a través del campo electromagnético que los une, es decir, en lenguaje ondulatorio, decimos que los une una onda electromagnética, pero, si consideramos el fenómeno desde el punto de vista corpuscular, diremos que un electrón emite un fotón, que es absorbido por el otro electrón.

Análogamente ocurre con los fenómenos luminosos; en lenguaje ondulatorio decimos que la luz se propaga a través del campo electromagnético universal de Maswell, es decir, mediante ondas electromagnéticas, pero, si nos fijamos en el carácter corpuscular de la luz (efecto fotoeléctrico), diremos que la luz se transmite mediante corpúsculos de energía llamados fotones.

Por tanto, interacción entre dos electrones o emisión y absorción de fotones viene a ser lo mismo; es decir, son dos aspectos de un mismo y único fenómeno.

Pues bien —dice Yukawa— entre los nucleones, que integran el núcleo, hay también interacción, luego debe existir un campo intermediario a través del cual se verifique el intercambio de energía de ligadura, que no es eléctrico ni magnético ni gravitatorio, luego debe ser de otra naturaleza distinta.

A este campo lo llama Yukawa «campo mesónico».

Desde el punto de vista corpuscular este nuevo campo de fuerzas exigía un nuevo corpúsculo, que no puede ser el fotón, exclusivo del campo electromagnético de Maswell, sino un nuevo «corpúsculo-onda», llamado «*mesón*» por Yukawa porque su masa, según los cálculos por él realizados, debía ser intermedia entre la del protón y el electrón.

En lenguaje ondulatorio el mesón de Yukawa está representado por las ondas mesónicas o el campo mesónico.

Según dicha teoría, por tanto, la unión entre el par protón-neutrón o neutrón-neutrón se verifica mediante la emisión constante de mesones o, si se prefiere, de ondas mesónicas entre ambas partículas.

La teoría de Yukawa va acompañada de gran aparato matemático, basado en la mecánica ondulatoria y en la teoría corpuscular de Einstein habiendo encontrado confirmación experimental plena al descubrirse la existencia de mesones de diversas clases en los rayos cósmicos; ello le valió el premio Nobel de Física en 1949.

La importancia que actualmente se atribuye al mesón en cuanto se relaciona con la estructura nuclear es enorme. «Si hemos de creer a Leprince-Ringuet —dice el P. I. Puig— los fenómenos que acompañan al mesón nos ofrecen en la naturaleza el único ejemplo de la desaparición total de la materia». «Este fenómeno que permite penetrar en el corazón

Universidad Pontificia de Salamanca

mismo del núcleo —escribe F. Abraham— ha de proporcionar un conocimiento del átomo mucho mejor que el deducido de la desintegración ordinaria de la materia. Su importancia aumenta de día en día: su formación, su desaparición por desintegración, los fenómenos nucleares que el mesón es capaz de suscitar, hacen de él una de las partículas atómicas más notables; como que sirve de lazo de unión entre el dominio de la radiación cósmica y el de la física del núcleo y de las desintegraciones» [51].

El ilustre profesor de la Facultad de Ciencias de Salamanca, D. Carlos Nogareda, escribía en 1950: «Sin embargo y al compás de los adelantos evidentes de la investigación, el núcleo se manifiesta cada vez más insondable, más misterioso. En este sentido pudiera decirse que el mesón de Yukawa no es más que una rendija muy estrecha, a través de la cual empiezan a vislumbrarse los gradientes de obscuridad progresiva de las fuerzas nucleares. El mesón de Yukawa ha permitido, en efecto, un primer sondeo provisional de los núcleos atómicos al establecer y definir las fuerzas nucleares [52].

En resumen, la teoría de Yukawa da una interpretación bastante acertada de las fuerzas nucleares y está de acuerdo con determinados hechos experimentales, sin embargo, nada nos dice sobre la verdadera naturaleza de dichas fuerzas, solo da una interpretación mecánica de su manera de actuar que, ciertamente, ha sido muy fecunda en el campo científico; con razón podemos, pues, afirmar, con el Sr. Nogareda, que el mesón de Yukawa no es más que una rendija que nos permite penetrar un poco en esa obscuridad y misterio que rodea a la estructura de los núcleos atómicos.

Como reconocen grandes hombres de Ciencia puede decirse que en cuanto al conocimiento de la verdadera estructura nuclear estamos aún en los comienzos, es mucho más lo que ignoramos que lo que conocemos. Sucede aquí —la imagen creo es de Bohr— como cuando un alpinista emprende una ascensión a un macizo montañoso desconocido; cuando, tras largas marchas y fatigas, logra alcanzar la cumbre del picacho que parecía más alto, al tender su vista sobre el nuevo horizonte, ve levantarse frente a él ingentes montañas, mucho más altas y quebradizas que las anteriores que le dejan como anonadado y rendido.

Cuando los científicos creían que con los grandes y sensacionales descubrimientos del presente siglo había desaparecido el misterio del átomo ven surgir ante su vista un campo vastísimo, totalmente desconocido, mucho más complejo aún, el de las fuerzas nucleares, el único capaz de dar razón de los fenómenos de liberación de energía nuclear y del comportamiento físico-químico de la materia.

El análisis y estudio de los numerosos fenómenos relacionados con la

51. I. PUIG, *La energía nuclear* (Barcelona, 1954), p. 388.
52 C. NOGAREDA, *Rayos cósmicos* (Salamanca, 1950), p. 85.

Universidad Pontificia de Salamanca

energía nuclear y las partículas elementales de la materia han conducido a la Física moderna a un callejón sin salida aparente; actualmente se desconoce la verdadera naturaleza de la materia y de la energía. El electrón unas veces parece comportarse como corpúsculo y otras veces como energía ondulatoria, el mesón se desintegra en un par electrón-positrón lo que hace que tampoco podamos precisar si se trata de un corpúsculo o de una onda; del aniquilamiento del par positrón-electrón resulta un fotón, es decir, un rayo de luz o si se prefiere una onda electromagnética de determinada longitud de onda, las fuerzas nucleares, potentísimas, aparecen envueltas en el mayor de los misterios y podríamos seguir citando otros muchos hechos inexplicables todavía a la luz de la Ciencia moderna.

Percatados de todas estas dificultades los científicos modernos, más atentos al progreso científico que al estudio de la realidad en sí, han elegido el camino más cómodo y expedito, el de emplear un lenguaje corpuscular u ondulatorio, según los casos, prescindiendo de lo que sea la realidad en sí, cuyo estudio corresponde más bien a la Filosofía.

VII

La energía nuclear y las propiedades físico-químicas

Como hemos dicho ya en otro lugar, para el científico las propiedades físico-químicas de un cuerpo o de un elemento químico representan simplemente el comportamiento del mismo ante determinados instrumentos de medida; es decir, las propiedades vienen representadas y definidas por la acción que el cuerpo ejerce sobre determinados instrumentos.

Ahora bien, toda acción supone un trabajo, y todo trabajo requiere un gasto de energía por parte del que lo realiza, es decir, exige un consumo de parte de la energía propia del agente. Pero ¿qué se entiende por «energía»?

En Física se habla de energía mecánica, energía hidráulica, energía térmica, energía luminosa, energía cinética, energía potencial, energía atómica, etc., pero ¿qué es energía?

Los físicos suelen definir a la «energía» como «*la capacidad para producir trabajo*». Ciertamente la definición es buena y suficiente para el científico, pero en ella va implícito algo muy importante, que suele pasar casi siempre desapercibido.

Esa capacidad para producir trabajo, para realizar una acción, exige indudablemente un sujeto, un principio activo, con virtualidad suficiente para producir dicho trabajo.

Luego, cuando se afirma que un átomo posee tales propiedades o tiene tal cantidad de energía, implícitamente se afirma que tal átomo, por su

Universidad Pontificia de Salamanca

naturaleza, por su constitución, por algo especial que en él radica, tiene virtualidad suficiente para realizar tal trabajo, es decir, existe en él un «algo», un principio activo, operante, que goza de determinados caracteres que le diferencian de todos los demás.

Tanto, pues, desde el punto de vista físico, como desde el filosófico, interesa dar un paso más y tratar de localizar ese principio activo del átomo y de los cuerpos naturales en general, que debe ser, como hemos visto, el verdadero responsable de todo el comportamiento físico-químico de dicho elemento.

Ahora bien, concretándonos al estudio del átomo, sabemos que en él hay dos partes: el núcleo donde se halla concentrada prácticamente toda la masa, y la periferia o envoltura electrónica. En el núcleo hemos visto actúan las fuerzas nucleares de cohesión (fuerzas mesónicas) y fuerzas eléctricas de repulsión que deben crear un campo electromagnético junto con las fuerzas eléctricas de la envoltura electrónica. Estos campos de fuerzas nucleares y electromagnéticas están en perfecto equilibrio en los átomos estables.

¿Cuál de estos diversos componentes del átomo se puede considerar como el principio activo y causa de todas sus propiedades esenciales?

Para los científicos la parte verdaderamente esencial del átomo es el núcleo ya que la ganancia o pérdida de uno o varios electrones periféricos no cambia la naturaleza del átomo, sino, a lo sumo, modifica algunas de sus propiedades físicas o químicas, pero el átomo sigue siendo químicamente el mismo, en cambio, cualquier modificación en el número de nucleones, salvo el caso en que se pueda formar un isótopo del mismo elemento, trae como consecuencia la formación de un nuevo elemento químico.

La explicación científica de la formación de un nuevo elemento, por la ganancia o pérdida de uno o varios nucleones es muy sencilla; si un núcleo captura, por ejemplo, un protón aumentará en una unidad la carga positiva del núcleo y por consiguiente, aumentará también en una unidad su número atómico, y, como el protón representa una unidad de masa, aumentará también en una unidad el peso atómico; estaremos, pues, en presencia de un nuevo elemento químico con peso atómico y número atómico propio, distinto del anterior, y por consiguiente, como revelan los hechos experimentales, con propiedades físicas y químicas diferentes. Ciertamente la explicación no puede ser ni más sencilla ni más simplista y además concuerda bien con los hechos experimentales como suele ocurrir con todas las explicaciones dadas a posteriori, pero la realidad debe ser muy distinta.

Vistas así las cosas, todo parece indicar que la transmutación de unos elementos en otros es un mero proceso mecánico que sólo exige aumentar o disminuir el número y clase de nucleones, como si el núcleo atómico

Universidad Pontificia de Salamanca

fuera un mero agregado de nucleones; científicamente tal explicación puede ser aceptable y hasta fecunda para proseguir la investigación científica, pero a poco que se piense en la complejidad del átomo, recordando lo expuesto en los párrafos anteriores, y en la unidad y estabilidad del mismo, se llega a la conclusión de que las cosas no deben ser tan sencillas.

Una cosa es que al científico le baste con esa explicación sencilla de la transmutación de los elementos, explicación puramente mecánica y superficial, y otra muy distinta que se prescinda de todo lo que lleva consigo la ganancia o pérdida de un nucleón por el núcleo.

Hemos hablado antes de que en el núcleo hay un campo de fuerzas nucleares que son las que producen la unión entre los nucleones, hemos dicho también que simultáneamente actúa en el núcleo un campo electromagnético resultante de las cargas eléctricas de los protones y de los electrones periféricos; luego la captura de un protón por el núcleo lleva aparejado necesariamente un aumento en las fuerzas nucleares y una variación en la intensidad del campo electromagnético del núcleo.

Como, por otra parte, hemos visto, que los nucleones tienden a agruparse en pares protón-neutrón, partículas alfa, y otras unidades superiores para llegar a una forma estable, la captura de un protón obligará a un reajuste del núcleo modificando en parte la disposición de los nucleones que traerá como consecuencia una modificación en la estructura del campo de fuerzas nucleares y otra análoga en la estructura del campo electromagnético del átomo.

Esto es evidente y está de acuerdo con las leyes generales de la Electrodinámica, luego no es solo la simple captura de un nucleón lo que produce la transmutación de un elemento en otro y el cambio de propiedades, la verdadera razón de dicho cambio debe buscarse en la modificación que experimenta el campo de fuerzas único, que actúa en el átomo, resultante de la composición de las fuerzas nucleares y el campo electromagnético de protones y electrones.

En favor de nuestro aserto está hecho el de que los fenómenos naturales no son otra cosa, sino un intercambio de energía y precisamente de energía electromagnética a través del campo electromagnético de Maswell y, por consiguiente, es lógico que las variaciones de energía de un átomo, representadas por sus propiedades, tengan su origen en el campo electromagnético de dicho átomo.

A la luz de todos estos hechos y deducciones creemos que el principio activo de un átomo cualquiera es su campo electromagnético; no puede ser el campo de «fuerzas nucleares» porque su acción es «ad intra» y limitada exclusivamente al interior del núcleo, como hemos visto, sin embargo, este campo debe contribuir también, en cierta manera, a la estructura e intensidad del campo electromagnético total del átomo, ya que del equilibrio entre ambos resulta la estabilidad y solidez del átomo mismo.

Universidad Pontificia de Salamanca

El campo electromagnético, en cambio, por su misma naturaleza, es indefinido y actúa aún fuera del átomo, por consiguiente, es capaz de actuar sobre el campo electromagnético de otro átomo vecino y aún componerse con él para dar lugar a un nuevo campo común a los dos átomos y con propiedades distintas, con lo que se explica fácilmente la formación de compuestos químicos.

En confirmación de nuestro aserto vamos a estudiar brevemente el átomo más sencillo, el átomo de hidrógeno.

Como se sabe, el átomo de hidrógeno consta de un protón en su núcleo y un electrón en su periferia. Ahora bien, en dicho átomo no actúan las fuerzas nucleares o mesónicas, porque no son necesarias, pero en cambio sí actúan fuerzas electromagnéticas debidas a las cargas del protón y del electrón; es decir, dicho átomo debe tener necesariamente un campo electromagnético solamente, que debe ser, sin duda, el único responsable de todo su comportamiento físico-químico, es decir, de todas sus propiedades físico-químicas.

Luego en último análisis en el átomo de hidrógeno podemos distinguir dos partes esenciales: una su masa, representada por la masa del protón y otra su campo electromagnético.

La masa, que representa a la materia en nuestro caso, es el principio pasivo e inerte del átomo, el campo electromagnético, en cambio, representa el principio activo y determinante del mismo.

Entiéndase bien que no pretendemos identificar la materia prima y la forma sustancial de Aristóteles con la masa y el campo electromagnético respectivamente; nada más lejos de nuestra intención, solo pretendemos hacer resaltar el paralelismo que puede establecerse entre ellos y aprovechar dicho paralelismo para hacer comprender la existencia de verdaderos cambios sustanciales en el mundo corpóreo y, como la solución científica del problema cosmológico en nada se opone a la solución filosófica del mismo, antes al contrario, permite hacer esta más comprensible, como expondremos en los párrafos siguientes.

Finalmente, para obviar dificultades y dada la complejidad del problema, recuérdese que, según la teoría de Prout, generalmente aceptada hoy día, los diversos elementos químicos se suponen formados por síntesis de cierto número de átomos de hidrógeno, con la consiguiente pérdida de masa, de acuerdo con el «packing effect» de Aston, por consiguiente, que, para nuestro objeto, pueden ser considerados como verdaderos compuestos de partículas homogéneas.

La masa del átomo resulta de la suma algébrica de la masa de los componentes y el campo electromagnético del átomo resulta, no de la suma algébrica, sino de la composición, desconocida en sus detalles todavía, de los campos electromagnéticos de los componentes, de acuerdo con la disposición y estructura que los mismos adoptan en el interior del átomo,

Universidad Pontificia de Salamanca

siguiendo las leyes trazadas por el Creador, que la Ciencia aún no ha logrado descubrir e interpretar. Como se ve, esto equivale a decir lo mismo que dice el hilemorfirmo acerca de la generación del compuesto, a partir de los componentes, por consiguiente, creemos acertada esta solución no sólo desde el punto de vista científico, sino aún desde el filosófico y como la única capaz de dar una explicación satisfactoria de los cambios sustanciales.

VIII

Los cambios sustanciales y la Ciencia actual

Acabamos de ver que el campo electromagnético de un átomo debe ser considerado como una parte esencial del mismo, como el principio activo y determinante del cual depende todo el comportamiento físico-químico de dicho átomo, o sea, como causa y origen de sus propiedades esenciales.

Toda modificación notable de dicho campo electromagnético, debida a la ganancia o pérdida de un nucleón, omisión hecha de cuando se produce un isótopo del mismo elemento, trae consigo la formación de un nuevo elemento químico, lo que, en términos filosóficos, equivale a decir un cambio de esencia, lo cual implica un cambio sustancial al estilo aristotélico.

Pues bien, examinemos lo que ocurre al verificarse una reacción química que es cuando tiene lugar un cambio sustancial según la Filosofía clásica. Cuando el cloro, por ejemplo, se combina con el sodio se forma el compuesto «cloruro sódico», sólido, cristalino, llamado vulgarmente «sal de cocina» o «sal gema». Las propiedades del cloruro sódico son diferentes de las de sus componentes por lo que la Filosofía escolástica supone que ha habido un cambio de esencia, es decir, un cambio sustancial en dicha reacción; el cloro y el sodio han perdido su individualidad en el compuesto, la forma sustancial del cloro y del sodio han desaparecido y en su lugar se ha generado una nueva forma que es la forma del compuesto resultante, mientras que la masa o materia permanece constante.

Veamos ahora cómo explica la Química moderna esta reacción.

Basándose en la teoría de Kosel, derivada de la teoría de Bohr, la unión entre los átomos de cloro y sodio para formar la molécula estable de cloruro sódico debe verificarse a expensas de los electrones de valencia de dichos átomos; el cloro tiene siete electrones de valencia en su órbita externa, mientras que el átomo de sodio solo tiene un electrón de valencia.

Como, según dicha teoría, los átomos tienden siempre a formar la configuración estable de gas noble (con ocho electrones en la órbita externa), el cloro tenderá a ganar un electrón para completar su órbita,

Universidad Pontificia de Salamanca

mientras que el sodio tenderá a perder el electrón que le sobra para recobrar la forma del gas noble anterior a él.

De acuerdo con esto, las órbitas externas de ambos átomos se unen entre sí mediante el electrón de valencia del sodio y con ello quedaría formada la molécula de cloruro sódico.

Muy sencilla y clara es esta teoría de Kosel para entender la formación de las moléculas; no tan clara, sin embargo, si pensamos que los electrones no están todos situados en el mismo plano, sino distribuídos en el espacio y girando en órbitas más o menos distantes.

Examinada así la cuestión no se comprende cómo pueden estar unidos los átomos mediante los electrones de valencia si no se tienen presentes las fuerzas electromagnéticas que ligan entre sí los componentes del átomo, de las cuales prescinde por completo la teoría de Kosel; por consiguiente, la teoría de Kosel se fija en lo más superficial y prescinde de lo fundamental. Nada de extraño, por tanto, que dicha teoría se considere como insuficiente ya que, como vimos al hablar de la molécula de hidrógeno, es incapaz de dar una explicación satisfactoria de las fuerzas de cohesión molecular que mantienen sólidamente unidos los átomos en la molécula.

Abandonada, pues, por insuficiente y abiertamente defectuosa, la teoría de Kosel, recordemos brevemente el modelo molecular de Heitler y London, que basándose en la teoría ondulatoria, supone a los átomos en la molécula unidos mediante un campo de fuerzas, representado por una serie de líneas de fuerzas u ondas electromagnéticas que unen estrechamente los átomos en la molécula; de acuerdo con este modelo ondulatorio se explican satisfactoriamente las fuerzas de cohesión molecular.

Que va bien orientada la interpretación de Heitler y London se deduce fácilmente si se tiene en cuenta que cada átomo posee un campo electromagnético propio y que este campo debe ser perturbado por el campo electromagnético de otro átomo, cuando éste se acerque convenientemente, como es imprescindible para que tenga lugar una reacción química.

Consecuencia de esta acción recíproca de ambos campos electromagnéticos será la composición de ambos, por ser de naturaleza análoga, dando lugar a la formación de un único campo resultante, cuyas características dependerán indudablemente de la estructura e intensidad de los mismos.

Esto traerá como consecuencia la pérdida de la individualidad de los campos electromagnéticos de dichos átomos que integran la molécula del compuesto así como la desaparición de las propiedades individuales y características de cada uno, junto con la aparición de otras nuevas propiedades que son las que caracterizan al compuesto.

Para aclarar esto utilizaremos un símil que, aunque imperfecto, sirve muy bien para nuestro caso.

Universidad Pontificia de Salamanca

Actualmente se admite que el campo magnético de un imán es el resultado de la suma algébrica o, mejor diríamos, de la composición de una serie de imanes elementales, que son las moléculas de hierro que constituyen el imán.

Cada molécula es un diminuto imán, pero si estas no están orientadas convenientemente, sino de una manera arbitraria, como ocurre en una barra de hierro cualquiera, no existe campo magnético externo; las líneas magnéticas de los imanes elementales se componen entre sí interiormente y al exterior no se manifiesta magnetismo alguno.

En cambio, si dichos imanes elementales se orientan adecuadamente (imanación artificial) surge un campo magnético externo y la barra de hierro se comporta como si fuera un único imán; los campos magnéticos moleculares han perdido su individualidad, pero virtualmente permanecen como reabsorbidos en el campo magnético total, que no puede ser considerado como una simple suma algébrica de los imanes elementales, sino como el resultado de la composición, en un determinado sentido, de todos los campos individuales, ya que el comportamiento externo del imán depende en gran parte de la forma que se dé a éste.

Esto nos permite aclarar uno de los puntos más obscuros del hilemorfismo; el de la generación y corrupción de las formas sustanciales.

Según el hilemorfismo la forma sustancial es simple, por tanto, no puede ser generada de una manera lenta y progresiva, sino «in instanti», y lo mismo ha de decirse de su corrupción.

En cuanto a su origen, un poco misterioso, dijimos ya que Santo Tomás lo explica mediante una frase un poco cabalística, pero certera: «forma substantialis educitur e potentia materiae».

Resulta difícil de comprender cómo, siendo la materia prima un principio puramente pasivo y potencial puede sacarse de ella la forma sustancial, principio activo y determinante; para salvar el escollo los escolásticos advierten que el término de la generación y de la corrupción no es la forma sustancial, sino el compuesto, el individuo completo, y, por consiguiente que la forma sustancial no se genera o corrompe directamente, sino de una manera indirecta al generarse o corromperse el compuesto.

Esto salva la dificultad, pero no aclara el origen de la forma, ni en qué consiste esa potencialidad de la materia para producir la nueva forma.

Creemos, sin embargo, que la expresión de Santo Tomás es perfectamente acertada y que puede hacerse comprensible con lo expuesto anteriormente.

En efecto, así como al combinarse el cloro con el sodio para formar el cloruro sódico no se aniquilan los campos electromagnéticos de dichos átomos y se crea un nuevo campo característico del compuesto, sino que únicamente aquéllos pierden su individualidad, permaneciendo virtual-

Universidad Pontificia de Salamanca

mente en el campo resultante, mientras a expensas de ellos se genera el nuevo campo propio del compuesto, así también las formas sustanciales de los componentes no se aniquilan ni se crea una nueva forma para el compuesto, sino que solamente pierden su individualidad y como se refunden en una sola forma que es la del compuesto que es únicamente lo que exige la generación y corrupción, y todo esto se verifica in instanti, como los campos electromagnéticos se componen entre sí instantáneamente.

En cuanto a que la forma surge de la potencialidad de la materia se comprende también si se tiene en cuenta que cada partícula elemental que compone el átomo contribuye a su manera a la formación y naturaleza de dicho campo electromagnético.

Volviendo nuevamente a la molécula de cloruro sódico se recordará que en realidad ésta no es otra cosa, sino dos sistemas de fuerzas (que tienen su origen en las partículas elementales que integran los átomos) en equilibrio perfecto y estable, cuya composición material no altera (recuérdese que los núcleos no alteran su composición y estructura en el compuesto), parece, pues, lógico suponer y la experiencia lo confirma, que si una causa extrínseca apropiada logra separar nuevamente ambos átomos, rompiendo el campo electromagnético del compuesto, éstos recuperarán su forma primitiva y regenerarán su propio campo electromagnético, cuyas características dependen en último término del número, naturaleza y disposición de las partículas elementales que integran el átomo, lo que equivale a decir, en cierta manera, que depende de la potencialidad de la materia de que consta el átomo.

Finalmente se comprende muy bien en qué consiste la permanencia virtual de los elementos en el compuesto, como defiende la Escolástica.

No es que el átomo esté en el compuesto como el árbol en la semilla, es decir, en embrión, ni que esté de una manera difusa, sino que el átomo conserva en el compuesto su misma composición y estructura en una de sus partes esenciales, el núcleo, pero desaparece otra parte esencial, el campo electromagnético propio, que pierde su individualidad y queda como reabsorbido en el campo electromagnético del compuesto formado.

Esta desaparición del campo electromagnético propio lleva consigo necesariamente la pérdida de la propia individualidad del átomo que ya no puede actuar individualmente, sino en cuanto forma parte del compuesto; todas las acciones o cambios energéticos que realice el compuesto corresponden y dependen únicamente del campo electromagnético del compuesto, de sus características e intensidad, lo que hace que éste manifieste una perfecta unidad a pesar de su heterogeneidad, como atestigua la experiencia.

Como los núcleos atómicos y, todo el átomo en general, conserva en el compuesto su misma composición y estructura, tan pronto como un agente externo logre disociar la molécula del compuesto, estos regene-

Universidad Pontificia de Salamanca

rarán automática e instantáneamente su campo electromagnético, recuperando nuevamente su individualidad y por tanto sus propiedades, lo cual está perfectamente de acuerdo con los hechos experimentales.

Así se explica satisfactoriamente que del mismo compuesto salgan siempre los mismos elementos, sin que sea preciso recurrir a la permanencia formal de los elementos en el compuesto.

Es claro que si prescindimos de la existencia en el átomo, como una parte esencial, del campo electromagnético, sería preciso admitir la permanencia formal de los elementos en el compuesto ya que el átomo conserva su misma composición y estructura en la molécula del compuesto, según acabamos de ver.

IX

La permanencia virtual de los elementos en el compuesto

En la filosofía aristotélico-tomista la permanencia virtual de los elementos en el compuesto se deduce de una manera lógica y necesaria como único medio para salvar la unidad del ser y explicar el hecho de que el mismo compuesto se descompone siempre en los mismos elementos, cualquiera que sea el procedimiento empleado para descomponerlo, sin embargo, la Ciencia actual presenta una serie de hechos experimentales que parecen probar, de una manera terminante, la permanencia formal de los elementos en el compuesto que, al menos aparentemente, ponen en entredicho este punto fundamental del Hilemorfismo.

Convencidos, sin embargo, de que dichos argumentos carecen del poder probatorio que se les atribuye y que, por el contrario, prueban una vez más la permanencia virtual de los elementos en el compuesto, vamos a recogerlos brevemente para darles la respuesta adecuada.

Estos argumentos pueden resumirse así: *Primero. De la Química analítica.*—La marcha analítica que se sigue en los laboratorios para separar e identificar los diversos elementos químicos de que constan un compuesto se basa en el hecho de que los elementos se comportan químicamente igual ya estén libres, ya en combinación; así, por ejemplo, todas las sales de cobre dan las mismas reacciones que el cobre. Esto sólo puede explicarse admitiendo que los elementos conservan su invidualidad en el compuesto, o lo que es lo mismo, que están formalmente en el compuesto.

Segundo. De la estructura de los cristales.—El estudio de las redes cristalinas mediante los rayos X y más recientemente, las fotografías obtenidas de los cristales de la marcasita con el microscopio por el físico

Universidad Pontificia de Salamanca

norteamericano M. J. Buerger [53] revelan que los átomos componentes del cristal (hierro y azufre, en este caso) están separados unos de otros, conservando, por tanto, su propia individualidad en el cristal.

Tercero. De la Radioactividad.—Sabido es que ciertos cuerpos, llamados radioactivos, presentan la propiedad llamada radioactividad que consiste en que sus átomos se están desintegrando constantemente mediante la emisión de ciertas radiaciones llamadas rayos alfa, beta y gamma.

La radioactividad tiene su asiento en el núcleo atómico de los átomos inestables, que para recobrar su estabilidad necesitan hacer un reajuste de las partículas nucleares.

Pues bien, el poder radioactivo se conserva íntegramente en el compuesto; tan radioactivo es el radio puro como el bromuro de radio, prueba palpable de la permanencia formal de los elementos en el compuesto, ya que el átomo conserva una de sus propiedades más características.

Cuarto. De los espectros.—La espectrografía revela que el espectro de alta frecuencia de un elemento permanece inalterable; cada elemento químico tiene su espectro característico compuesto de un conjunto de rayas de determinada frecuencia. Pues bien, cuando se examina el espectro de un compuesto se observa que aparecen en él las rayas características de cada uno de sus elementos, exactamente igual que si cada elemento estuviera libre; ahora bien, el espectro de alta frecuencia es una propiedad característica suficiente para identificar a un elemento, luego la permanencia del espectro parece que solo se puede explicar si se admite la permanencia formal de los elementos en el compuesto.

Quinto. De las disoluciones.—Según la teoría de Arrhenius, generalmente aceptada, cuando una sustancia, por ejemplo, el cloruro sódico, se disuelve en un disolvente, como el agua, las moléculas se disocian en sus iones, quedando sus componentes separados entre sí; en el caso del cloruro sólico se forman iones cloro e iones sodio, sin embargo, las propiedades de la disolución son las del cloruro sódico; esto parece confirmar la permanencia formal de los elementos en el compuesto.

Antes de contestar a cada uno de dichos argumentos hemos de confesar sinceramente que si nos atenemos solamente a la teoría de Kosel-Bohr y prescindimos de lo dicho acerca del campo electromagnético del átomo, es imposible refutarlos y es preciso admitir la permanencia formal de los elementos en el compuesto. En efecto, si el núcleo es la parte esencial del átomo y éste permanece invariable en el compuesto, si la unión entre los átomos al constituir la molécula del compuesto se verifica solamente me-

53. I. PUIG, S. J., *La energía nuclear* (Barcelona, 1954), p. 12.

Universidad Pontificia de Salamanca

diante los electrones de valencia, es indudable que el átomo conserva su individualidad en el compuesto; esta es, sin duda, la razón por la cual muchos científicos y no pocos filósofos de la hora actual niegan la existencia de verdaderos cambios sustanciales o los ponen en tela de juicio.

Por el contrario, si se admite que en el átomo hay dos partes esenciales, una representada por la masa o materia de los nucleones y otra el campo electromagnético que resulta de la composición de todas las fuerzas que actúan entre todos los componentes del átomo, todos estos argumentos se desvanecen como la espuma y hallan una perfecta explicación en la permanencia virtual de los elementos en el compuesto.

Pasemos, pues a examinar cada uno de dichos argumentos.

Primero. De la química analítica.—Antes de entrar a fondo en la cuestión conviene hacer notar que no es rigurosamente cierto que el comportamiento químico de un elemento es el mismo, ya esté libre ya combinado; conocidos son los apuros y dificultades que se presentan, no ya a los alumnos que trabajan en un laboratorio de química, sino aún a los ya especializados, cuando se trata de separar y analizar los componentes de algunos minerales o de ciertas sustancias complejas, dificultades que no se presentan cuando se trabaja con elementos puros.

No obstante, concedamos de buen grado, que los elementos se comportan igual en estado libre que en combinación, ello no prueba la permanencia formal de los elementos en el compuesto, sino la permanencia virtual.

Para que el cloro y el sodio reaccionen para formar el compuesto cloruro sódico es imprescindible, como para toda reacción química, el contacto de dichos átomos, así lo afirma la química.

Al chocar dichos átomos sus campos electromagnéticos se influenciarán mutuamente, de acuerdo con las leyes de la Electrodinámica, y, por ser afines, terminarán por componerse, dando como resultante un único campo electromagnético, cuyas líneas de fuerza envolverán a ambos núcleos; se ha formado la molécula de cloruro sódico.

Si el campo electromagnético es una parte esencial del átomo es indudable que estamos ante un verdadero cambio sustancial, ya que algo sustancial, la materia o masa de los núcleos, permanece invariable y algo también sustancial, el campo electromagnético cambia y es sustituído por algo también sustancial, el campo electromagnético del compuesto; se cumplen, pues todas las condiciones exigidas por los cambios sustanciales.

Sin embargo, los núcleos conservan su constitución y estructura en el compuesto, lo cual explica fácilmente esa virtualidad del compuesto para descomponer siempre en los mismos elementos.

Un nuevo ejemplo, relacionado con el análisis químico, nos permitirá comprender esto mejor. Pongamos en un tubo de ensayo una disolución de

Universidad Pontificia de Salamanca

cloruro sódico y añadamos unas gotas de una disolución de nitrato de plata; veremos formarse inmediatamente un precipitado blanco de cloruro de plata; ha tenido lugar una reacción química de doble descomposición que ha dado lugar a dos nuevos compuestos químicos: cloruro de plata y nitrato sódico.

«¿Qué ha ocurrido? Sencillamente que, por razones para nosotros aún desconocidas, el campo electromagnético del cloro es más afín del campo electromagnético del átomo de plata que del de el sodio y, al mezclarse y chocar entre sí las moléculas (o los iones si se prefiere) de cloruro sódico y nitrato de plata, se atraen con más fuerza los campos del cloro y de la plata que los del cloro y el sodio, lo que hace que se rompa el campo electromagnético del cloruro sódico, disociándose su molécula, y se forme el nuevo campo correspondiente al cloruro de plata, mientras que, por otra parte, el átomo de sodio se une al ión NO_3 para formar la molécula de nitrato sódico.

Es decir, que lo que cambia en las reacciones químicas no son los núcleos, sino los campos electromagnéticos, parte esencial de los átomos.

No es necesario, pues, que los átomos estén formalmente en el compuesto para que den las mismas reaciones ya estén libres, ya combinados, basta y sobra con la permanencia virtual, tal como la hemos expuesto anteriormente.

Así se comprende y explica la mayor dificultad para producir determinadas reacciones de un elemento cuando forma parte de un compuesto, dificultades que no existen cuando el elemento está libre; es que entonces hay que vencer la acción o influjo que sobre el campo de dicho átomo ejercen los campos de los restantes átomos que integran la molécula del compuesto, acción que a veces es casi insuperable; en cambio, si los elementos permanecieran formalmente en el compuesto, que sería un mero agregado de átomos, debería ser el mismo el comportamiento químico de sus componentes que en estado de libertad, lo cual no es rigurosamente cierto.

Segundo. De la estructura de los cristales.—Con la misma facilidad puede deshacerse el argumento basado en la estructura de las redes cristalinas.

En efecto, de los «lauegramas» sólo se deduce que los núcleos atómicos o mejor, los átomos, están separados en el cristal, pero eso no prueba que conserven su propia individualidad; los espectros de rayos X nada nos dicen, ni puede decirnos, acerca del campo electromagnético de los átomos y de los cambios que éste experimenta al constituir la molécula del compuesto.

Luego, aunque los átomos aparezcan materialmente separados en el cristal, ello no excluye el que estén sólidamente unidos entre sí y formen un «quid unum»; basta y sobra para ello, como hemos visto antes, que los

Universidad Pontificia de Salamanca

campos electromagnéticos de los átomos se compongan entre sí para formar el campo del compuesto, lo cual está de acuerdo con las leyes generales del electromagnetismo y parece confirmar la experiencia.

Tercero. De la radioactividad.—Este argumento nada tiene que ver con la permanencia virtual de los elementos en el compuesto, la radioactividad es una propiedad nuclear que tiene su origen en la inestabilidad del núcleo, a causa del desequilibrio existente entre las fuerzas que actúan en él, lo cual obliga al núcleo a hacer un pequeño reajuste.

Ahora bien, como el núcleo conserva íntegramente su estructura en el compuesto seguirá siendo inestable y, por consiguiente, radioactivo y estará solo virtualmente en el compuesto el átomo radioactivo porque, según lo dicho, su campo electromagnético habrá desaparecido al formar la molécula del compuesto y, por consiguiente, el átomo habrá perdido su individualidad.

Cuarto. De los espectros.—También este argumento carece de valor probativo de la permanencia formal de los elementos en el compuesto ya que, según el sentir común de todos los físicos [54] los espectros tienen su origen en la envoltura electrónica del núcleo, que es considerada como parte accidental del átomo.

Según los físicos las distintas rayas del espectro se deben a saltos de los electrones de una órbita a otra más interna, o, si se prefiere, al paso de los electrones de un estado energético a otro más inferior, para lo cual el electrón debe perder cierta cantidad de energía que es emitida al exterior en forma de luz de determinada frecuencia.

Nada nos dice, pues, el espectro del campo electromagnético ni siquiera del núcleo atómico, por tanto carece de valor para probar si los elementos permanecen formal o virtualmente en el compuesto.

Quinto. De las disoluciones.—Ya no merece contestación especial el argumento basado en la ionización de las moléculas de las sustancias disueltas, ya que la separación material de los iones no impide su ligazón mediante las líneas de fuerza del campo electromagnético molecular, suficiente para explicar la permanencia virtual defendida siempre ardorosamente por toda la Escolástica

Luego la Ciencia moderna nada tiene que oponer a la permanencia virtual de los elementos en el compuesto, antes al contrario, los hechos experimentales encuentran una explicación más plena y más profunda si se admite dicha permanencia virtual.

---

54. Cf. O. OLDEMBERG, *Introduction to Atomic Physics* (New York, 1949), p. 116 s.

Universidad Pontificia de Salamanca

Nada se opone tampoco, como hemos tratado de demostrar, a la existencia y comprobación de verdaderos cambios sustanciales en los seres materiales; su aclaración completa exige ciertamente un conocimiento más profundo y detallado de las fuerzas que actúan en el átomo, cuyo estudio y análisis presenta grandes dificultades para el científico, pero ello no es obstáculo para que nosotros, basándonos únicamente en su existencia, sin conocer su verdadero valor e influjo, podamos hacer ya deducciones de tipo filosófico.

Universidad Pontificia de Salamanca