

G. Urbain

La química sub-atómica y el átomo moderno

LOS físico-químicos actuales han sido testigos de mayor número de descubrimientos fundamentales que los conocidos por los sabios del pasado. La juventud del espíritu debía extender sus límites hasta una época en que el tiempo no se enorgullece ya de su inmutabilidad y el pensamiento científico obedece al vértigo de una aceleración siempre creciente.

Generación privilegiada, la nuestra ha visto plantearse, en el terreno de los elementos químicos, inesperados problemas, muchos de los cuales han alcanzado soluciones sorprendentes. Enorme distancia separa a los elementos simples de Lavoisier de los elementos isótopos de Aston. Los elementos espectroscópicos, los gases raros del aire, las tierras raras, los elementos radioactivos, son las etapas de esa jornada.

La historia de estos descubrimientos capitales está demarcada por verdaderas revoluciones en la manera de considerar los hechos. La filosofía de las ciencias físico-químicas ha oscilado varias veces entre los polos opuestos del empirismo y del racionalismo. Actualmente, la doctrina electrónica reanima el amable poema epicúreo que nos legó Lucrecio. En ella, la audacia de las concepciones modernas disimula apenas el armazón filosófico proveniente de diversas épocas del pensamiento occidental. Encontramos aquí, bien buscadas, las calidades primeras y las calidades segundas. Las nociones de espacio, tiempo, inercia,

cargas eléctricas, constituyen las unas; y las otras derivan de éstas. La tesis es mecanista. Los electrones, que desempeñan en ella el principal papel, tienen la falsa apariencia de las mónadas de Leibniz. Pero el éter que los baña, hasta tal punto es tratado como intruso, que parece a veces escapado de una concepción newtoniana. Tan pronto un materialismo sutil hace de él el soporte todas las propiedades posibles, como este electrón no es sino el centro de convergencia de líneas de fuerza, in-materiales por esencia. En la escala de lo infinitamente pequeño, el mundo atómico nuevo es copia del mundo estelar, de escala infinitamente grande, pues el átomo despedazado llega a ser un sistema planetario en el cual los electrones-planetitas giran alrededor de un núcleo-sol central. De tal suerte se alcanza el viejo ideal de una fisico-química ideada según el modelo de la astronomía. Esta analogía permite hablar de la Unidad de las ciencias físicas y de la Armonía del Universo. Lo infinitamente pequeño atómico se cubre de envolturas sucesivas que poco a poco tienden hacia lo infinitamente grande. Extrapolando, y por poco que se lo buscara, sería lícito encontrar a Dios.

Este mundo, creado por el espíritu, resulta de interpretaciones, lejana y hábilmente enlazadas, de datos sensibles. Ven algunos en él la expresión misma de la *realidad*, disimulada por las sensaciones; otros, un *modelo* simbólico encargado de dar razón, de una manera económica pero aun grosera, de un número muy restringido de hechos y de apariencias; otros, un sistema cómodo para la acción, es decir, para la investigación; y otros, por fin,—son los irreductibles celadores de las leyes positivas o de los principios racionales abstractos,—no quieren ver en él sino un vano adorno de la ciencia, o—lo que es peor—una síntesis metafísica.

Fuera de estos disidentes que, por su actitud rígida y desdenosa, permanecen extraños al gran movimiento de la época, los sabios, cualesquiera que sean sus tendencias, empiristas, racionalistas, monistas, pluralistas, probabilistas, etc..., hallan en la doctrina el alimento intelectual en que preferentemente se complacen. El pensamiento científico moderno es una Babel

en que el acuerdo se produce en el determinismo y el método experimental.

Pero el determinismo tiene sus límites. Su valor práctico disminuye rápidamente con el número de variables que no pueden ser olvidadas. El método tiene sus dominios más allá de los cuales la experiencia pierde sus derechos. El universo, que, en su totalidad, obedecería sólo a las exigencias de las disciplinas científicas, aparece, en el estado actual de nuestros conocimientos, como una hipótesis deseable, y nada más. Tan ambiciosa concepción, sobrepasa aparentemente lo que puede alcanzar la experimentación. Por otra parte, en el dominio teórico, en que la experiencia hace la policía, no se legitima la audacia de las síntesis demasiado vastas. La generalidad de las doctrinas está en razón inversa de su rigor. No se ajustan jamás sino a cierto número de hechos o de conceptos recortados en la complejidad de las sensaciones. Toda teoría demasiado general corre el riesgo de extraviarse en los escollos del verbalismo.

Así es como el electrón escapa a toda definición real. Teniendo el encargo de explicar la materia y la electricidad, no puede ser satisfactoria la definición que lo presenta como átomo irreductible de materia y de electricidad. Es una palabra que se ha substituído a otra en el límite de sus subdivisiones concebibles. Bajo su ropaje ilusorio, en vano se trata de identificarlos.

Si, por lo demás, los términos materia y electricidad no son ya nombres de capítulos en que se reúne la descripción de fenómenos sensibles que tienen entre sí relaciones más o menos estrechas, no pueden denotar sino entidades abstractas, conceptos ideológicos, seres metafísicos cuya íntima naturaleza permanece problemática por esencia. Son como los conceptos de «bondad» y de «justicia».

Sabremos lo que es el electrón cuando sepamos lo que son la materia y la electricidad. No bastará, para vencer la dificultad, considerarlos como un centro de convergencia de líneas de fuerza. De esta manera se cambia sólo el lenguaje. En efecto, por «centro de convergencia de líneas de fuerza», entendemos «punto de materia o de electricidad». La idea general de punto

es más abstracta que la de átomo. El término no gana, ciertamente, al hacerse más vago, y pierde haciéndose equívoco. Efectivamente, un punto material o eléctrico no podría ser privado de dimensiones, y cuando éstas se hagan lo más pequeñas posible, este pseudo-punto será realmente un átomo.

No sabemos, pues, de qué esté hecho el electrón; pero lo adornamos de inercia mecánica y de carga eléctrica. Gracias a estas cualidades, el electrón se comunica con el exterior. Todas las propiedades sensibles, todos los fenómenos observables, todo el mundo físico y, rigurosamente, todo el universo deben referirse a la inercia y carga del electrón. Todo lo demás es secundario y subordinado. Esta concepción no es puramente cartesiana. El mecanismo está en ella mitigado por el electro-dinamismo; tal es su originalidad. El mecanismo puro se había mostrado insuficiente para la realización de síntesis, así fueran parciales, del mundo. La extensión y el movimiento habían dado razón del calor y de la óptica. La electricidad y las nuevas irradiaciones han escapado a su gobierno. Un elemento nuevo —la carga eléctrica—germen de una mecánica nueva y de un cartesianismo rejuvenecido, se había hecho necesario ya.

Pero la *carga*, tan rica en posibilidades y tan misteriosa como la *fuerza*, la *materia*, el *espacio* y el *tiempo*, no halla mejor explicación que éstos. Son, para nuestros conocimientos, ideas-ejes. Tales ideas tienen una incontestable existencia ideológica. Pero son invenciones del hombre, conceptos más o menos vacíos a fuerza de abstracción, con los cuales poblamos el mundo, como los budistas lo llenan de fantasmas a los cuales otorgan una existencia real. Lo cierto es que este mundo ideológico no puede apartarse mucho del mundo verdadero, en tanto la experiencia desempeñe su papel de policía. He aquí la piedra de toque. La experiencia fija los respectivos límites de lo posible y de lo real; determina o rectifica las formas de nuestra lógica, siguiendo una ley constante de adaptación. Fija en beneficio de lo *cómodo* y de lo *útil* la elección y la permanencia de nuestros conceptos.

Desde ese momento, el mundo ideológico que creamos par-

tiendo de nuestras ideas-ejes, presenta la incontestable ventaja de satisfacer las exigencias de nuestro espíritu y de adaptarse a nuestras aptitudes psicológicas. Es incomparablemente más simple que el mundo real, porque dispone de la abstracción, la cual, al permitirnos franquear rápidamente enormes distancias cuyos detalles secundarios se nos escapan, es el admirable instrumento de simplificación que preserva a nuestro espíritu de una miopía incurable.

Nuestro mal principal es nuestra impotencia para precisar la naturaleza de las ideas-ejes. Para no rodar por la pendiente de un verbalismo a cuyo término se alza una odiosa tautología, conviene desde luego reducir a un estricto *mínimum* el número de las ideas-ejes. Conviene, en seguida, limitarlas a las extensiones cuantitativas, es decir, susceptibles de medida. Toda extensión mensurable adquiere, con sólo ésto, una realidad.

La dificultad está sólo en medir lo que nos proponemos medir, y no otra cosa. Ésto es mucho menos simple de lo que se cree. Por ejemplo, nos equivocariamos si pensáramos que es posible medir la temperatura de una zona de la llama, introduciendo en ella un termómetro. No se observaría así, sino la temperatura del termómetro, y no la de la parte de la llama a la cual ha substituído. Termómetros de diferente espesor indicarían, en efecto, temperaturas diferentes, ninguna de las cuales sería la que buscamos.*

Este ejemplo revela la importancia de satisfacer las exigencias de una medida exacta. Pero cuando tales exigencias se cumplen, la medida toma un carácter de certeza ante el cual no prevalecerá razonamiento alguno. Esta primacía de la experimentación cuantitativa asegura un incontestable valor práctico a las ideas-ejes mensurables. Ignoro lo que sea una fuerza, pero sé medirla correctamente. Igual cosa ocurre para la extensión, el tiempo, la carga eléctrica y la inercia material.

Pero, se me dirá, usted no conoce de esas extensiones sino

* El termómetro recibe mucho calor de la llama, pero irradia al exterior, lo cual disminuye, proporcionalmente a su superficie, la temperatura que puede indicar.

la manera cómo las mide. No tengo necesidad de otra cosa. Mi estricto y pobre conocimiento de las extensiones que mido me basta para definir las. ¿De qué me serviría la definición de una extensión que no me sirviera para medirla, y, por tanto, para dominarla? ¿En qué tejido de contradicciones me arriesgaría, para extraviarme después? Limitando mi conocimiento, le aseguro un poder contra el cual ninguna consideración tendrá valor.

Las ideas-ejes se definen por la forma cómo las medimos. La materia, la inercia se define por la balanza; la electricidad, la carga, se define de una manera análoga.

Pero, hecho esto, debo aceptar todas las consecuencias. Si trato, por ejemplo, de penetrar el misterio íntimo de las ideas-ejes, debo cuidarme muy bien de substituir a mi definición primitiva una definición nueva que pudiera parecerme más profunda, pero que ya no sería exactamente aquélla que soy capaz de medir *.

El sabio puede tener, pues, acerca de las ideas-ejes, puntos de vista más o menos profundos, pero no deben salir ellos del terreno especulativo sino cuando no exista el peligro de que anulen las ecuaciones en que aparecen estrictamente las extensiones medidas m , t , e , etc... y siempre que fijen sus relaciones en el más preciso de los lenguajes.

De estos puntos de vista sobre las ideas-ejes pueden sólo derivar conceptos nuevos que se agregarán a los antiguos sin substituirlos. Por lo demás estos conceptos nuevos no ofrecerán interés sino cuando permitan ligar los fenómenos que hasta entonces aparecían como no relacionados, o si simplifican señaladamente sus relaciones. Se trata, en efecto, de encerrar la porción más grande que sea posible del Universo en un tejido de relaciones cuyas mayas sean bastante apretadas para que tal envoltura retenga su contenido.

De esta manera, la ciencia establece una red de relaciones

* Así es como el tiempo psicológico no se identifica necesariamente con el tiempo medido por un reloj.

entre conceptos que, si no son en sí mismo la realidad, reproducen en forma suficiente sus formas para que las consecuencias se verifiquen por la vía de experiencias y observaciones.

Relativa en su totalidad, por esto mismo, la ciencia ignora lo absoluto, y no tiene que cuidarse de él. Escoge sus conceptos con un fin esencialmente pragmático. Los necesita simples y económicos, es decir, a la escala humana.

Sus teorías deben obedecer a las mismas reglas. Las mejores son las más simples, las más objetivas, puesto que son las más fáciles de manejar y, en consecuencia, las más fecundas. Y esto, porque la fecundidad es el criterio de su valor, y se trata de la fecundidad presente y activa, es decir, de aquélla que permitirá agregar el máximum de mallas nuevas al tejido que debe aprisionar al mundo de nuestros conocimientos positivos. Las viejas teorías, tan perfectas como sean, caen en desuso desde el momento en que los sabios no pueden extraer de ellas relaciones nuevas. Las más prometedoras son siempre las mejores.

Esta opinión ha sido expresada siempre en los lenguajes más diversos, pero raras veces en el que exactamente le conviene: el del pragmatismo, porque su forma un poco cruda parece siempre desagradable o cínica. El entusiasmo que suscita toda doctrina es idéntico al que desencadenan los conquistadores afortunados. Las cualidades técnicas de un Napoleón son menos impresionantes que su estrella. Lo maravilloso tiene el privilegio de la seducción y justifica en el más alto grado el éxito. Las teorías que van de victoria en victoria son siempre maravillosas y seductoras. Uno se preocupa poco de sus cualidades técnicas que son hechos de simplicidad, de comodidad, de objetividad, gracias a la selección juiciosa de conceptos, de principios o de modelos: se confiesa que representan la *Verdad* misma; se las considera como la expresión de la *Realidad*. Desgarrando, al parecer, el velo que cubría el misterio, adquieren un carácter sagrado, casi divino.

Desde ese momento, ya no aparecen como un guía ingenioso, como un medio de alcanzar conocimientos positivos en la escala de la experiencia humana, sino como una finalidad. Así es cómo

la teoría electrónica de los átomos modernos encuentra ya en sí misma, bajo el nombre de *química sub-atómica*, su propio fin. No se trata ahora de imaginar modelos para economizar el pensamiento, como lo deseaba E. Mach, o para simbolizar las leyes positivas, como lo preconizaba E. Poincaré. Se trata de saber si será preciso atribuir a tal átomo químico un anillo de electrones de más o uno de menos. La teoría no está hecha ya para los fenómenos sensibles; éstos son entregados como pasto a la teoría. Los papeles se han trocado. No nos sorprendamos en exceso,—pues toda generación hace la refutación de la que la ha precedido. Este cambio de actitud, por lo demás, no es inquietante. Viola las reglas de un juego, pero no significa ningún atentado al conocimiento. A la ordenación antigua de los hechos, substituye sólo una ordenación nueva. Los anillos de electrones no tendrían ninguna razón de ser si no se hicieran depender de ellos ciertas propiedades sensibles. Este lenguaje nuevo e imaginado puede ser traducido al lenguaje de los hechos directamente observables. Es un léxico que ha de establecerse. La naturaleza del nuevo punto de vista basta, sin embargo, para revertir la escala de valores. Pocos sabios verdaderos hay a quienes pueda impresionar semejante reversión. Los rendimientos de la investigación se retrasaban algo en el orden antiguo; tal vez coordinando los materiales en un nuevo orden, veremos acelerarse el curso de tales rendimientos. Los balances darán la respuesta y decidirán de la orientación que ha de seguirse en lo futuro.

En el orden físico-químico, el descubrimiento se conforma a los medios de dos instrumentos que necesariamente se completan. Uno es la «manera de ver», el otro es el «dispositivo experimental». En ambos casos, la originalidad es el más importante factor del éxito. No se trata de canalizar el pensamiento en reglas metódicas demasiado estrechas. La originalidad se preocupa muy poco de las reglas. En la Ciencia, como en el Arte, toma a veces el partido adverso. Poco importa que el descubrimiento se haga en favor de la teoría o en su contra. Lo esencial es que el descubrimiento se haga.

Por lo demás,—y probablemente no se insiste bastante sobre este punto—hay dos maneras de encarar la ciencia: la del investigador y la del profesor. El investigador va a la vanguardia; señala los caminos, y deja al profesor la tarea de demarcar las avenidas. Muy a menudo este último monopoliza la atención, porque son sus obras las que a menudo consultan los lectores no especializados en cuestiones científicas. No hay un profesor habituado a la investigación y que obtenga sus documentos de escritos de primera mano, que ignore hasta qué punto se hallan mal avenidos el encadenamiento histórico de los descubrimientos y las exigencias de una exposición bien ordenada. Fines diferentes imponen métodos distintos. Es menester no confundir la metodología didáctica y la de la investigación. No se entrelazan necesariamente. La prueba está en que los mejores profesores no son siempre los mejores investigadores. Hay aún una categoría de investigadores afortunados, los genios, que, superficialmente analizados, parecerían desprovistos de espíritu científico. Son en general los más audaces. La investigación admite audacias que llegan a veces a la contradicción, pero que sin embargo se legitiman por su fecundidad.

Si el éxito de la experiencia justifica cierta arremetida contra la lógica, es preciso no precipitarse proclamando la quiebra del espíritu científico. El valor de la lógica resulta de su adaptación a la experiencia. Lo que la experiencia ha creado puede ser rectificado por ella. De tal suerte, todo entrará en el orden. Por lo demás, lo contradictorio y lo absurdo, en la ciencia, jamás es sino provisorio. En tanto favorecen la investigación, no llegan a escandalizar, y los investigadores siguen adelante. Que los profesores armonicen la presentación; tienen todas las probabilidades de lograrlo, contando con el tiempo.

Si bastara un error de lógica para condenar una doctrina, la teoría del átomo moderno, que no se ocupa en dificultades de tal orden, debería ser abandonada. Pero esta severidad, de que se muestra ansiosa la crítica filosófica, no halla camino, felizmente, entre los sabios cuyo espíritu pragmático—conscientemente o no—sólo admite el éxito como criterio de valores.

Sin detenerme en los detalles de estructura, iré derechamente a la clave de la doctrina.

Sir E. Rutherford, en su teoría triunfante de las desintegraciones radioactivas, había considerado simplemente como causa al átomo aislado. La energía puesta en juego en los fenómenos de la radioactividad, siendo de un orden de dimensiones incomparablemente más grande que en las reacciones químicas ordinarias, ha hecho que la teoría de las reacciones radioactivas no pueda satisfacerse con los principios admitidos en la cinética química. En ésta, sólo se ponían en juego los choques entre las moléculas. El choque rompía los lazos que en la molécula ligan los átomos entre sí. Estos lazos son relativamente flojos y su ruptura no presenta sino una débil liberación de energía.

En las transformaciones radioactivas la liberación de energía es formidabile. Se ha deducido de esto que el átomo mismo se rompe, y espontáneamente, como un explosivo. Los restos del átomo son proyectados con velocidades inconcebibles imposibles de relacionar con las de la balística ordinaria. Dos clases de proyectiles. Los más pequeños y los más vivos, siempre idénticos a sí mismos, son los electrones. Están cargados negativamente y su masa sería, en reposo, la 18 centésima parte de la de un átomo de hidrógeno.* Sus trayectorias constituyen los rayos β . Los más pesados son alrededor de 10 veces más lentos; todos tienen la misma masa, equivalente a la de un átomo de helio, o sea, a la de cuatro átomos de hidrógeno. Su carga, igual próximamente a la del electrón, es positiva. Estas partículas forman la materia de los rayos α . El resto del átomo se convierte en un átomo nuevo, radioactivo, excepto cuando se transforma en átomo de plomo.

Así, el átomo no es homogéneo; está formado de partes ligadas con una energía considerable. La materia y la electricidad se asocian a ella, a menos que no se identifiquen con ella. El átomo, eléctricamente neutro en total, debe admitir tantas cargas

* En conformidad con las exigencias de la Relatividad de Einstein, la masa de los electrones varía con su velocidad.

positivas como negativas. Excelentes razones—que no tengo oportunidad de desenvolver aquí—aproximan casi exactamente las cargas positivas al centro del átomo. Más o menos la mitad de los electrones se aproximan a estas cargas, disminuyendo su mutua repulsión y el resto de los electrones gravita en torno y muy lejos de este núcleo central fuertemente condensado.

Tal es el esquema de Rutherford. Fué aceptado universalmente, a título de diseño provisional, puesto que era criticable. En efecto, los electrones exteriores que giraban en torno del núcleo positivo central, estando cargados eléctricamente, debían, según las leyes de la electro-dinámica, irradiar hacia el exterior. Perdiendo de tal manera su impulso, estos desgraciados electrones, al fatigarse, debían acercarse poco a poco al núcleo central y finalmente caer sobre él. Esta caída inevitable equivalía a la muerte físico-química del átomo, pues todas las propiedades físico-químicas, salvo la radioactividad, no podían depender sino de la atmósfera periférica de estos electrones planetarios. Desde hace tiempo, mucho tiempo ya, debió haberse producido el hielo universal de los átomos, y el Universo habría debido morir sin remisión. Consecuencia enojosa, eventualidad inadmisibles. Era preciso curar de su enfermedad al átomo de Rutherford. N. Bohr trajo el remedio, que fué extremadamente simple. Siguiendo ciertas órbitas privilegiadas, circulares o elípticas, quedó impedida la irradiación de los electrones planetarios; pero tenían el estricto deber de hacerlo si una causa exterior los hacía pasar de una a otra órbita. Tales saltos no podían hacer variar la energía del electrón sino de determinada manera. Así, las variaciones de energía dejaban de ser continuas y no podían proceder sino por *quanta*, negativos si los electrones se acercaban al centro, positivos en el caso contrario. Desde entonces, la vida del átomo quedaba asegurada en su eternidad, objeto que se quería alcanzar.

Las variaciones de energía por *quanta*, que M. Langevin llama pintorescamente «granos de energía», habían hecho ya, con Plack, su aparición en la física matemática. Habían salvado a la teoría de la irradiación negra, de la bancarrota. El nuevo

salvamento aseguraba a la iniciativa de Bohr una acogida simpática. El partido que de ella supo sacar este autor, calculando las líneas del espectro del hidrógeno con una precisión inaudita, hizo definitivo el éxito de los *quanta* y, en consecuencia, el de las órbitas privilegiadas. Está bien: los átomos han adquirido el derecho de ser eternos. Por el mismo hecho, las posiciones de las líneas del hidrógeno en la escala espectral han adquirido rigurosamente el lugar que les corresponde. ¿Quién dudaría desde este momento del valor del átomo de Bohr-Rutherford? Pero las leyes de la electrodinámica que rigen el poder de irradiación de las cargas en movimiento, ¿qué se hacían en todo esto? Se las abandona, se las olvida. Constituían el eje del razonamiento que condenaba a muerte al átomo de Rutherford. Para este fin, eran ineluctables. Pero su papel quedó regido desde que fué negada la necesidad de su intervención siguiendo las órbitas privilegiadas. El éxito del espectro del hidrógeno ha hecho devanecerse los escrúpulos de los teóricos.

Según un error muy difundido que hace a la ciencia solidaria de interpretaciones teóricas más o menos pasajeras, esta crítica hubiera parecido particularmente grave. Pero conviene no prolongar la discusión más de lo que exigen las justas proporciones. La ciencia misma no está en discusión, desde que se trata sólo de un instante del espíritu teórico. La física matemática atraviesa una crisis de crecimiento. Subrayo un instante crítico. La física matemática no podía, sin contratiempos,—renunciando a la física de lo continuo, con la que los Duhem, los Ostwald, los Le Chatelier han terminado, con la termodinámica química, un movimiento clásico e imperecedero, pero dejado de mano por su estagnación—arremeter con lo discontinuo, de que no tenía aún sino un insuficiente predominio. ¿Reprocharémos al soldado cansado que cambie de lado más o menos torpemente su fusil? Y el que denuncia a éste además, ¿deberá ser acusado de haber calumniado o traicionado al ejército? Si lo continuo está a prueba de fuerza y de argumentos, pasemos a lo discontinuo sin enredar demasiado con él los medios actuales. El

cambio de frente ha provocado cierta tirantez. Pero el objetivo es el mismo: la victoria. Sólo ella vale la pena.

Habría podido disimular esta actitud forzada con algún diti-rambo vibrante de entusiasmo. Podría haberme guarnecido tras el Método—con M mayúscula—y proclamar, con el espectro del hidrógeno en mano, que la experiencia, amo soberano, ha juzgado sin apelación. Conozco el tono y las estrofas; pero desprecio estos bajos procedimientos de dialéctica.

La retirada estratégica de las leyes de la electrodinámica deja a éstos fuera de combate. Es lo esencial. El atomismo contemporáneo puede, según la tradición, sufrir un eclipse en lo porvenir; sin embargo, las leyes de la electrodinámica no pueden temer ningún atentado. Siendo positivas, están al abrigo de las vicisitudes. Pero la teoría es ideológica, y por tanto, humana. Por lo mismo debe cambiar. M. Bohr ha inaugurado la era de un cambio en las reglas del juego, o, si se prefiere, un estilo más noble en las tradiciones.

Hasta entonces los modelos se hallaban compelidos a obedecer a las leyes experimentales, leyes a la escala del hombre, leyes que rigen el mundo sensible y que, a partir de Comte, llámanse leyes positivas. N. Borh propuso e hizo aceptar una excepción a esta regla; las cargas que circulan siguiendo las órbitas privilegiadas, como no irradian hacia el exterior, han sacudido el yugo de la electrodinámica. No son ya cargas, a estricto título, pero subsisten como tales, a título ideológico que la experiencia ignora, puesto que hasta la irradiación, conservan todos los caracteres.

La innovación no es mínima. El camino en que se lanza desde ahora el espíritu científico es totalmente nuevo. Los más ardientes partidarios de la hipótesis de Borh reconocen en ella el absurdo lógico. Este juicio privaría de todo valor al atomismo contemporáneo, si, como lo desean algunos filósofos, se tratara de dar una explicación del universo. Pero está muy claro que no se trata de eso.

A los mundos con orden de extensión diverso, pueden aplicarse leyes distintas. A nuestra escala, los fenómenos del mundo

atómico se integran. Nuestras leyes son las leyes de los grandes números. Así el principio de Carnot, riguroso en nuestra escala, es falso en la escala atómica. El principio de la conservación de la materia ha sido minado de análoga manera. Con la relatividad, la masa ha llegado a ser uno de los avatares de la energía; y el principio de la conservación de la energía, siguiendo a Bohr, aparece como una ley del gran número. De los tres grandes principios fundamentales que la generación precedente juzgaba como los únicos rigurosos, no quedan ya, de tal suerte, sino leyes aproximativas válidas sólo para nuestra escala, o algo menos.

Desde este momento, el terreno queda despejado. El único rigor que podemos esperar, cuando la integral está comprometida, debe hallarse en la diferencial. Sólo el mundo atómico y sub-atómico puede admitir leyes rigurosas. De él espera la nueva física la verdad. Es la única realidad profunda; y si nuestros sentidos son demasiado imperfectos para alcanzarla directamente, nos remitiremos al *sentido intelectual*, a la mirada del espíritu, que va más lejos y sobre todo más alto que la del cuerpo, y que es la heredad del hombre.

No nos quedaría sino buscar entre los agregados de una filosofía algo enmohecida, la sanfarria del racionalismo, si, para evitar este retroceso, el pragmatismo, más humano y buen compañero en toda circunstancia, no quisiera asegurarnos esta salvaguardia de querer mirar más hacia el porvenir que hacia el pasado.

Siempre es excepcional que un teórico joven no se vea engañado por sus pasiones. En lo infinitamente pequeño atómico, cree descubrir no sé qué absoluto que no podría esperar la ciencia puramente experimental. No sin algún fundamento, Berthelot reprochaba a la escuela de Wurtz el querer fundar una religión nueva.

No se trata aquí de reprochar cualquiera cosa a quienquiera que sea; pero es interesante averiguar en qué medida puede la fe desempeñar algún papel en el dominio de la investigación científica contemporánea.

Con este fin, veamos cómo se establecen las leyes de los fenómenos sub-atómicos. Recordemos que no son de la escala de nuestra experimentación, y que pueden diferir de nuestras leyes experimentales.

Reducido a sus propias fuerzas, el sentido intelectual no puede crear sino hipótesis. El campo es vasto, puesto que es el de lo posible. En él, la imaginación puede caminar de carrera. El valor de las hipótesis se juzga por la manera cómo sus consecuencias se concilian con la experiencia. Pero el espíritu escoge entre las experiencias encargadas de hacer el juego a la hipótesis. El principio de las órbitas privilegiadas encontró su confirmación en la espectroscopia del hidrógeno. Anteriormente había sido dañado por la electrodinámica. Desde este punto de vista, la cuestión era necesariamente contradictoria; y la dificultad que en ella hay no se escapa a nadie. La experiencia concede por un lado lo que por otro rehusa. Existe un conflicto. He aquí, pues, de qué se compone nuestro conocimiento de la estructura atómica: hipótesis corroboradas por ciertas experiencias, pero que pueden estar en conflicto con otras.

Certidumbres que se apoyan sobre tales bases no podrían afirmar sino una fe. Dejémosle el privilegio de levantar montañas; no corramos el riesgo de quebrar los brazos muy contados que trabajan en beneficio de la ciencia. Nada importa que se crea o que se dude, si la fe y el excepticismo miran al mismo fin, o sea, a un conocimiento siempre más amplio de las riquezas del universo y de sus relaciones.

El papel que la teoría asigna a la experiencia se esclarece con lo que precede. Es fragmentario. El privilegio concedido a la espectroscopia a expensas de la electrodinámica, fija las preferencias de la doctrina y restringe el dominio de su eficacia. Este dominio es el de la irradiación.

En todo lo que concierne a este capítulo tan importante de la ciencia, la teoría electrónica es y será por largo tiempo un excelente guía. Por otra parte, ha rendido sus pruebas y su valor desafía toda discusión. Relacionando los fenómenos de radiación con la estructura del átomo químico, debió tomar mu-

cho a la ciencia química. ¿Pero tales préstamos le permitirán pretender regir la química toda entera?

Para responder a esta pregunta, importa enumerar lo que la nueva doctrina ha tomado a la química de su patrimonio teórico.

Desde luego, la noción del átomo químico que resume en modelo simple y claro las muy conocidas leyes fundamentales que presiden las combinaciones químicas: ley de la conservación de la materia (Lavoisier), ley de las combinaciones definidas (Proust), ley de los números proporcionales (Richer, Wenzel, etc.), ley de las proporciones múltiples (Dalton).

Después, la clasificación de Mendeleeff, que ordena los elementos químicos según su peso atómico creciente, en un orden tal, que los elementos dotados de un conjunto de propiedades comparables, se hallan agrupados.

Por fin, la noción de Valencia, que esquematiza ciertas leyes de asociación de elementos en los compuestos.

De estos tres préstamos, el primero sólo podía ser puro y simple. El segundo supo elevar de lo intuitivo a lo racional la mejor de las clasificaciones de elementos químicos que se hayan propuesto. El orden en que aparecen los elementos en el cuadro de Mendeleeff, les había asignado un número, llamado «número atómico». Estos números no presentaban mayor interés que los que se colocan a las casas sucesivas de una calle. Pero Rutheford dedujo de experiencias sobre la difusión de los rayos α a través de las diversas materias, que los números atómicos representan el número de los electrones-planetas de la atmósfera atómica, o, lo que es lo mismo, el número de cargas positivas libres contenidas en el núcleo-sol central. Moseley estableció en seguida que en todo espectro de rayos X, que no dependen sino del átomo que los emite, existe una relación simple entre la posición de cada franja en la escala espectral y el número atómico del elemento emisor. La ley de Moseley permite la medida precisa de los números atómicos. Cada elemento químico tiene un número atómico y un número solo que basta, además, para definirlo. Es éste un hecho nuevo cuyo interés sobrepasa al de cualquiera doctrina, pues hasta este momento

la definición de cada elemento importaba el conocimiento de su peso atómico y el de su espectro óptico (espectro de destello o de arco). Este progreso debe ser anotado al activo de la teoría.

Hemos visto que Butherford había deducido su modelo de átomo de hechos conocidos del centelleo radioactivo. Ahora bien, había sido necesario atribuir a elementos radioactivos distintos el mismo número atómico. Estos elementos no difieren entre sí sino por su radioactividad. Poseían, por lo demás, las mismas propiedades físicas y químicas. Esta identidad de propiedades implicaba para estos diversos átomos una misma atmósfera de electrones-planetas, de donde procede la identidad de los números atómicos. Nuevo éxito para la teoría. Los elementos del mismo número atómico recibieron de Soddy el nombre de Isótopos, y el fenómeno, el de Isotopía. Más tarde, J. J. Thomson y Aston generalizaron la noción de isotopía y la extendieron al conjunto de los elementos químicos, radioactivos o no. Así, la teoría reveló su poder en el dominio de las especies elementales. Desde entonces, el término elemento * químico se aplica, no ya a un individuo, sino a un género. La isotopía es un descubrimiento de primer orden que extiende nuestros horizontes y plantea nuevos y graves problemas.

El tercer préstamo, hasta aquí, no ha hecho sino traducir en un lenguaje nuevo y con ayuda de imágenes nuevas lo que ningún químico podía ignorar. En esta traducción, la noción de *valencia* no ha ganado ni en simplicidad, ni en comodidad; y a pesar de plausibles esfuerzos, el paso marcado es aparente.

Aunque la teoría electrónica haya enriquecido la ciencia con una cantidad mensurable (números atómicos), con una definición simple (definición de un elemento por el número atómico) y sobre todo con un grupo de nuevos fenómenos (isotopía), la mayor parte de los químicos estima que ha permanecido ajena a su ciencia. Es que ella no ha resuelto ninguno de los problemas cuya solución les interesa particularmente. La isotopía

* Esta terminología es ya viciosa, desde que al término *elemento* implica el de irreductibilidad. Lo mismo ocurre para el átomo divisible,

no ha franqueado los límites del capítulo de la radiación. Tanto en el aparato de J. J. Thomson como en el de Aston, los isótopos sólo se manifiestan a título de rayos positivos. Los proyectiles de que éstos son la trayectoria no se revelan sino por las señales dejadas en las placas fotográficas. Para los químicos puros, los isótopos no son todavía, salvo en lo que respecta al plomo * más que lejanas interpretaciones de fenómenos de radiación. Su existencia pertenece al dominio de la ideología y queda a merced de un cambio en la manera de ver. Para llegar a una certidumbre, los químicos reclaman muestras de isótopos distintos en tubos diversos. Todo lo demás les parece ilusorio. La traducción de la valencia en intercambio de electrones que determinan campos de fuerza entre los átomos de un mismo compuesto, les ha interesado sobre manera. La noción de valencia ha desempeñado un gran papel en la historia del desenvolvimiento de la química orgánica y en la más reciente de los compuestos minerales complejos. Los químicos han dado crédito a la teoría nueva, y se lo darán tanto como sea necesario.

Las teorías sobre las valencias se prestan a numerosas interpretaciones. En cualquiera forma que se las presente, su fondo no puede ser modificado. Tratan de las uniones posibles entre los átomos, y jamás hacen intervenir condiciones externas, únicas capaces de asegurar a estas uniones alguna solidez.

Ahora bien, estas condiciones externas, tan importantes desde el punto de vista químico como desde el punto de vista físico, aun permanecen casi totalmente ignoradas por la nueva doctrina. La estructura del átomo hace casi abstracción de la temperatura, de la presión, y, de una manera general, de todas las variables de este género, grandes primeros papeles de las disciplinas termodinámicas. Es preciso que la química sub-atómica, en los límites en que quiere interpretar los fenómenos de la química ordinaria, se ocupe en llenar tan formidable laguna.

* Se conocen plomos de diferentes pesos atómicos.

Ciertamente, debemos aplaudir tantos esfuerzos concertados para lograr ciertos ideales de la ciencia y más especialmente, su unidad. Los resultados obtenidos en el dominio de los hechos son ya considerables; sólidos puentes se han tendido entre las diversas ramas de las ciencias físico-químicas. Pero de aquí a una síntesis general del Universo, hay distancia, gran distancia.

El Universo es muy vasto y muy rico para dejarse encerrar en el cuadro rígido, y fatalmente demasiado estrecho, de un sistema. La ciencia de los modelos es un simbolismo que encierra sin duda una parte importante de verdad, pero no toda la verdad. Estos modelos son tal vez más verdaderos que las sensaciones confusas que nos hacen experimentar los fenómenos de nuestra escala. Son como esos cuadros de los Maestros, en que no aparece sino lo esencial de las realidades objetivas, de las cuales han desaparecido, a favor de una hábil estilización, las fealdades y vulgaridades, y de los cuales dicen los críticos que son más verdaderos que la naturaleza que imitan. Pero es legítimo pensar que son sobre todo un álgebra cuyos signos son particularmente claros y cuyos razonamientos son simples. Difícilmente podemos concebir que la discontinuidad que se manifiesta en las leyes de las combinaciones sea el reflejo de la naturaleza de las cosas. El átomo puede ser una realidad; pero es ante todo una hipótesis cómoda y seductora. Después de lo que he dicho acerca de las definiciones que sirven de base al sistema sub-atómico, no creo deber insistir sobre lo que valga como explicación del mundo en general y de los fenómenos en particular. Por lo demás, los *quanta* que aquí se insertan, imponen por lo menos una hipótesis absurda, lo que descarta toda posibilidad de explicación satisfactoria. No quedan, pues, para justificar plenamente la teoría, sino sus cualidades pragmáticas.

(Trad. para ATENEA, de la *Revue Philosophique*, N.ºs 3 y 4, 1927).