

**MEDICINA, CIENCIAS NATURALES,
BIOLOGIA-EDUCACION**

MENDELEYEEF Y LA QUIMICA MODERNA

por ANTONIO GARCIA BANUS

Me voy a ocupar en esta última lección de uno de los hombres de ciencia más grandes de todos los tiempos. Por su carácter humano y por su extraordinario genio constituye un ejemplo, casi único, en la historia de la ciencia; un rápido examen de su vida y de su obra nos dará algunas enseñanzas que creo serán interesantes.

Dmitri Ivanovich Mendeleyeef nació el 7 de febrero de 1834, en Tobolsk, ciudad bastante importante de la Siberia occidental. Era descendiente de rusos y mongoles; fue el hijo menor de una numerosa familia que se componía, según unos biógrafos, de diecisiete hermanos; otros menos ambiciosos se contentan sólo con once.

Su padre era director del Gimnasio de Tobolsk; su madre, María Kornileff Mendeleyeef, sentía por su Benjamín, a quien daba el nombre familiar de Mitjenka, una predilección especial, pues desde su infancia se distinguió el muchacho por una inteligencia clara y por su afable carácter.

Siendo Mitjenka niño, unas cataratas dejaron ciego a su padre y a la familia con una pensión de mil rublos anuales, como todo recurso. María Kornileff afrontó la situación con un heroísmo del que iba a dar después numerosas pruebas. Su familia había fundado la primera fábrica de cristal y los primeros molinos de papel en Tobolsk. Valientemente se puso al frente de la fábrica de cristal, convirtiéndola en un negocio próspero, sin abandonar por eso el cuidado del marido ciego y de su numerosa prole. Pudo así comenzar la educación de su hijo. Dmitri se reveló con una capacidad extraordinaria para las matemáticas, la física y la historia; pero parece que detestó cordialmente el latín...

Tuvo, como primer maestro en ciencias, a su cuñado Basargin. Era Basargin un ruso muy culto, naturalmente revolucionario, exilado en Siberia por haber tomado parte en la revolución de septiembre de 1825 para derrocar al zar Nicolás I. Era una *decembrista*; en la obra inmortal del conde León Tolstoy, *La paz y la guerra*, está maravillosamente narrado ese episodio.

Dmitri terminó sus estudios en el Gimnasio a los dieciséis años, con tal brillantez, que se le concedió la medalla de oro, primera de las muchas que debía recibir en su larga y fecunda vida.

Pocos meses después la tragedia se ceba en su familia; muere su padre tuberculoso y un incendio destruye hasta sus cimientos la fábrica de vidrio, dejando arruinada a la madre.

María Mendeleyeef no se abate; tiene entonces cincuenta y siete años; no quiere ver truncada la educación de su querido Mitjenka; recoge y realiza lo poco que le queda, compra unos caballos y un carro, y, con sus dos hijos menores, emprende, a través de las desoladas llanuras de Siberia, de los imponentes Urales, de las interminables estepas de la Rusia oriental, un viaje a Moscú, distante unos 3.000 kilómetros de Tobolsk. El ánimo, que a ella no le faltó, se encoge al pensar lo que pudo ser ese viaje, inaudito en cualquier momento, increíble en aquel entonces y con tal medio de transporte, a través de pésimos caminos y bajo un clima que es uno de los más duros del planeta.

Llegan a Moscú y fracasan, falta de amistades, de influencias políticas y de recursos, todas las gestiones para hacer ingresar a Mitjenka en la universidad.

Pero esa mujer heroica no se arredra; coge otra vez su carro, y se dirige con sus dos hijos a San Petersburgo, a unos 700 kilómetros de Moscú; allí tiene más suerte; encuentra a Pletnoff, viejo amigo de su difunto esposo, director del Instituto Central Pedagógico, y con su amistosa influencia logra una beca del gobierno para que Dmitri comience sus estudios universitarios en el Departamento de Física y Matemáticas.

Como si esto fuera la culminación de su vida, y comprendiera que la educación y el porvenir de su Mitjenka estaban ya asegurados, rinde su alma heroica a los dos meses, consolada en sus últimos momentos, con la idea de que, después de todo, sus sacrificios no habían sido inútiles.

Años después, Mendelejeef escribía en el prólogo de su famosa obra sobre las *Disoluciones*, estas palabras, que nunca pudo releer sin que sienta la más profunda veneración por aquellos dos magníficos seres:

“Esta investigación se dedica a la memoria de una madre por su más joven retoño. Dirigiendo una fábrica, pudo educarlo sólo por el esfuerzo y el trabajo que ella puso. Lo educó con el ejemplo, lo corrigió con amor, y, con el fin de dedicarlo a la ciencia, emigró con él de Siberia, consumiendo sus últimos recursos y sus últimas fuerzas. Cuando moría me dijo: —Refréna las ilusiones, insiste en el trabajo y no en las palabras. Búска pacientemente la verdad Divina y la verdad en la ciencia. Ella comprendió cuántas veces decepcionan los métodos dialécticos, cuánto nos queda siempre por aprender y cómo, con la ayuda de la ciencia, sin violencia, con amor pero con firmeza, puede vencerse toda superstición, toda mentira y todo error, asegurando en su verdadero puesto las verdades descubiertas, el bienestar general y la íntima felicidad. Dmitri Mendeleyeef tiene como sagradas las últimas palabras de su madre. Octubre de 1887.”

Termina sus estudios superiores y recibe la medalla de oro por su comportamiento y trabajo extraordinario. Como véis, Mendeleyeef no fue nunca un cazador de décimas ni de centésimas, ni su absoluta pobreza le impidió ser un estudiante extraordinario. No buscó nunca un diploma, y tuvo muchos, sino el saber, aun a costa de los mayores sacrificios. Lo demás le llegó sin buscarlo. Su ejemplo no lo debemos olvidar nunca, y menos vosotros mis jóvenes amigos, que estáis en la posibilidad, por vuestra edad, de forjar vuestro porvenir y el de vuestra patria.

Entre 1859 y 1861 trabaja primero en París con el famoso físico Regnalt y después en Heidelberg, con el no menos famoso químico Bunsen, descubridor con Kirchoff del análisis espectral, que tan resonante triunfo debía proporcionar al mismo Mendeleyeef pocos años después.

Cuando en 1861 vuelve a San Petersburgo tiene ya su tesis doctoral y recibe el título con todos los honores. Otro pequeño ejemplo que conviene hacer resaltar; sólo al cabo de cuatro años de intenso trabajo, logra ser doctor y no precisamente porque no fuera activo, ni inteligente. No es el título lo que hace al hombre, sino su esfuerzo, y los grandes hombres sólo se forjan con el trabajo duro y continuo.

Casi en seguida es nombrado, a los veinticinco años, profesor de química del Instituto Tecnológico y al cabo de ocho años pasa como profesor de química general a la Universidad de San Petersburgo, una de las cátedras más ambicionadas: tiene entonces treinta y tres años.

Acumula enorme cantidad de trabajo, en poco tiempo, para preparar sus lecciones, trabajo que permite a su genio formar una síntesis maravillosa de lo que es su ciencia. Las lecciones tienen un éxito enorme, sólo comparable quizás con las de Davy en la Royal Society de Londres. Son un acontecimiento público. Cada día, mucho antes de comenzar su clase, y sin necesidad de pasar lista ni poner fallas, el aula y los pasillos que a ella conducen están llenos de bote en bote. Acuden estudiantes de todas las facultades, y personas de todas las clases sociales, médicos, artistas, abogados, literatos, siguen, con interés creciente, las lecciones del joven maestro.

En marzo del mismo año 1869 presenta a la Sociedad de Química Rusa esa síntesis maravillosa de todos sus estudios, su inmortal trabajo *Las relaciones entre las propiedades y el peso atómico de los elementos*. Ha nacido el sistema periódico, una de las concepciones más geniales de todos los tiempos.

Dos años después da a luz sus *Principios de química*, donde, por primera vez, se sistematiza racionalmente el estudio de esta ciencia, libro que aún hoy en día puede servir y sirve como modelo de exposición. En el prólogo de la cuarta edición inglesa de su libro, publicada en los Estados Unidos, Mendeleyeef, con ingenuidad y modestia maravillosas, decía que no le extrañaba ver su obra traducida al inglés, por la natural curiosidad de conocer el sistema periódico de sus fuentes originales; pero el hecho de haberse publicado en pocos años cuatro ediciones le hacía pensar que su obra era realmente interesante, y el que fuera utilizada por los estudiantes de habla inglesa llenaba de orgullo su alma rusa.

“A cuatro trabajos debo mi nombre: el sistema periódico, el estudio de la expansión de los gases, el concepto de que las disoluciones son asociaciones y mis *Principios de química*. Este es todo mi bagaje.

“Evidentemente la ley periódica no está amenazada por el futuro y sólo cabe esperar nuevas superestructuras y ampliaciones (dice con voz profética, como si hubiera soñado en toda una nueva familia de elementos, cuya existencia no podía prever ni aun el hombre que sabía leer en el porvenir). Hasta ahora, aunque han pasado treinta años desde su publicación, poco se ha dicho sobre mis estudios de la expansión de los gases; a ese respecto confío en el futuro. Espero que acabará por entenderse que, cuanto yo he descubierto, tiene un carácter universal y es de grande

importancia para la interpretación del Cosmos y de lo infinitamente pequeño." (¡Veremos inmediatamente hasta qué punto son absolutamente exactas sus palabras!) "...Los americanos deben recordarme lógicamente, pues ellos estudian la química desde los puntos de vista ofrecidos en mis *Principios de la química*. Este libro es mi hijo favorito. Lleva impresa mi imagen, mi experiencia de maestro y mis más íntimos pensamientos." El sistema periódico causa una sensación enorme en el mundo, sobre todo cuando, poco a poco, van convirtiéndose en realidad todas las previsiones, casi proféticas, que en él se hacían; comienzan a caer sobre Mendeleyeef los honores máximos a que puede aspirar un hombre de ciencia. Es nombrado miembro honorario de todas las sociedades de química y de todas las academias de ciencias del mundo. Recibe la medalla de oro de Davy, la más alta distinción a que, aun hoy en día, puede aspirar un químico; caso único en la historia, es nombrado doctor *honoris causa* por las universidades de Oxford y Cambridge, que hasta en esto muestran cierta rivalidad entre ellas. Sus amigos decían jocosamente que la lista de títulos y condecoraciones que llega a poseer Mendeleyeef es más larga que la del zar de todas las Rusias.

Mas nadie es profeta en su patria; a pesar del éxito clamoroso de sus lecciones en la universidad, durante muchos años apenas si dispone de un modestísimo laboratorio; ostentosamente se le cierran las puertas de la Academia de Ciencias de San Petersburgo; es humillado e insultado, en más de una ocasión, por algunos cortesanos, y por último, como coronación digna de su difícil vida, un ministro del zar, Delyanow, cuyo nombre se ha inmortalizado por esta grande hazaña, lo expulsa en 1900 de su cátedra de la universidad, por el pecado inaudito de haberse atrevido a presentar una petición de los estudiantes, para que se mejorasen las condiciones de vida y de trabajo universitarios.

Funda entonces el Instituto Ruso de Pesas y Medidas, donde trabaja hasta su muerte, el sábado 2 de febrero de 1907, cuando sólo le faltaban cinco días para cumplir los 73 años. A los veinte un médico no le daba tres meses de vida, por la afección pulmonar que sufría, heredada de su padre. ¡No siempre puede acertarse en los pronósticos! Su joven vida tuvo entonces el honor de recibir un telegrama del zar Nicolás II, que decía: "En la persona del profesor Mendeleyeef, Rusia ha perdido uno de sus mejores hijos, cuyo recuerdo quedará siempre en nuestra memoria." Nunca es tarde si la dicha es buena, podríamnos comentar...

La obra de Mendeleyeef no se limitó a ese sencillo bagaje a que con tan ingenua modestia alude en el prólogo que os he leído. Es de una extensión y de una intensidad increíbles.

Con motivo de las grandes fiestas que se celebraron en Leningrado en 1934 para conmemorar el centenario de su nacimiento, a donde acudieron sabios de todo el mundo, se acordó, entre otras muchas cosas, la publicación de la colección completa de sus trabajos, que comprenden la friolera de diez volúmenes de 500 páginas cada uno.

Durante su estancia en el Instituto Tecnológico visitó los Urales, que había atravesado siendo niño en condiciones tan dramáticas, y estudió la explotación de las minas de carbón; allí desarrolló otra de sus geniales ideas. ¿Por qué malgastar vidas y esfuerzos en el infernal trabajo de las minas, si el carbón puede transformarse en ellas mismas, en un gas combustible, fácil de manejar y de emplear? Demuestra allí mismo la viabilidad de su idea... que nadie toma en consideración. Hoy se practica esto en Rusia y es una de las hazañas más atrevidas de la técnica contemporánea, que comienza a ensayarse, también, en otros países.

En la misma época fue a estudiar personalmente los riquísimos yacimientos de petróleo del Cáucaso; comenzaba por entonces a explotarse el petróleo, en forma muy primitiva, quemando directamente la nafta; encarece su empleo racional, y sienta las bases de la ingente industria contemporánea del petróleo; decía: "emplear el petróleo en bruto para calentar calderas, es tan irracional como sería alimentarlas con billetes de banco." Pero había cortesanos y magnates que, así y todo, se enriquecían; y nadie le hizo caso.

Con su visión siempre profética, comprendió la importancia que para su patria tenía el mar Artico, cerrado por los hielos durante casi todo el año. Proyectó varios modelos de barcos rompehielos, que fueron olvidados. Todos sabemos que hoy día la ruta del Artico es practicable durante casi todo el año, lo que ha permitido llevar la vida y poner en explotación inmensas zonas riquísimas, antes inaccesibles. Comprendió la importancia que para la meteorología tenía el estudio de la alta atmósfera, e hizo varias ascensiones en globo libre... y sin piloto.

Muchos de vosotros habréis manejado, o tendréis que manejar, las tablas alcohometrísticas para la determinación de la riqueza alcohólica; son de Mendeleyeef.

Tardaría mucho si tuviera que recordar toda su obra científica, que constituyó sólo una parte de su infatigable actividad.

Grande amigo de literatos y artistas, aquí lo tenemos, en la intimidad de su despacho, en compañía de uno de sus mejores amigos, el gran paisajista ruso Kuindgi, jugando al ajedrez, que como buen ruso dominaba a la perfección. Les acompaña Ana Ivanovna Popova, segunda esposa de Mendeleyeef, su amiga y compañera en los últimos años de su vida y gran artista, que ilustró con sus dibujos las numerosísimas biografías de las grandes figuras de la ciencia, que escribió su marido.

Estudió la organización y el mejoramiento de la alimentación pública; organizó las oficinas centrales de estadística; hizo numerosas campañas en pro de la extensión de la educación pública y por la participación de la mujer en la industria y en la administración... Inventó la centrografía, estudio científico de los desplazamientos de los centros geográficos de población en los grandes países, lo que constituye un fenómeno de importancia capital para el planteamiento y solución de muchos problemas económicos y sociales.

Siempre proféticamente, escribía en 1905: "El centro geográfico de la población se está desplazando en Rusia; es posible afirmar con seguridad que avanzará hacia las bendecidas tierras del Sur y del Este, con sus abundantes y fértiles campos." Veinte años después, en 1926, el centro geográfico había pasado, como lo prevía Mendeleyeef, más allá del Volga, hasta las cercanías de Marxstadt. Pero para el químico y para el físico, si queréis para la ciencia contemporánea, la obra más importante de ese grande hombre es su *Sistema periódico*.

¿Qué es la ley o sistema periódico? ¿Para qué sirve? ¿Qué importancia tiene en la ciencia actual, no sólo en la de los últimos decenios, sino en la que se está haciendo, en la que está naciendo?

¿Qué dice la ley periódica?

Formulada casi con las mismas palabras de Mendeleyeef, podríamos contestar así: "Todas las propiedades de los elementos dependen periódicamente de su peso atómico". No es muy complicado, como véis, mas me imagino que la mayoría de vosotros, sobre todo aquellos que no estén al tanto de estas cuestiones, os habréis quedado tan enterados como antes.

Vamos, pues, a analizarla con más cuidado.

La química, como toda ciencia de la naturaleza, comienza

por acumular un gran número de hechos empíricos, es decir, encontramos experimentalmente que al principio constituyen un conjunto caótico, sin relación aparente los unos con los otros.

El hecho empírico lo halla cualquier trabajador voluntarioso, y siempre hubo y hay en todo el mundo espíritus curiosos que buscan y encuentran cosas, nuevos hechos, en cualquier capítulo del conocimiento humano. Cuando el hombre comienza a buscar en una dirección determinada los hechos descubiertos y que van conociéndose no puede decirse todavía que ha nacido una ciencia realmente nueva, por lo menos mientras no se descubra alguna relación que los ligue, algún sistema que les haga depender los unos de los otros. Y cuando más amplia sea la concepción descubierta, cuantos más hechos abarque y comprenda, tanto más valor tiene y tanto más cercanos nos hallamos de una ley de la naturaleza. Si queréis en otras palabras, tanto más próximos nos hallamos de haber captado una chispa del pensamiento divino, ordenador de todas las cosas.

Antes de Mendeleyeef, apenas podía vislumbrarse por qué razón dos elementos tan distintos como son el gas cloro, que todos conocemos de nombre y también por su sabor, gracias a la magnanimitad con que lo emplea nuestro acueducto, y el iodo, que más de una vez lo hemos visto sobre nuestra piel, sean químicamente muy semejantes. El uno es un sólido, el otro es un gas, y a pesar de ser dos sustancias tan diferentes, se conducen químicamente en forma muy semejante. Podríamos multiplicar este ejemplo sencillo tanto como quisiéramos.

¿Puede encontrarse alguna ley armónica, que permita relacionar las propiedades de los elementos con algo muy sencillo? Lo que equivale a preguntar: ¿las propiedades del cloro gaseoso y del iodo sólido, las del oxígeno y las del azufre, las del rojizo cobre y las de la brillante plata, son totalmente independientes las unas de las otras, o existe algún denominador común a todas ellas, algo que las fije y las determine?

En un primer examen (y aun si queréis después de muchas *habilitaciones*) no se ve relación alguna. Sin embargo, con el afán que el hombre ha tenido siempre de reducir los hechos más complicados a unidades sencillas, mucho antes de Mendeleyeef, comenzó a sospecharse que debía existir una relación profunda entre el peso atómico de un elemento y todas sus propiedades. Y debemos confesar que no había razón alguna para tal sospecha. El tratar de encontrar una relación entre el peso atómico de un ele-

mento y sus propiedades, es algo así como pretender adivinar, una vez sabido mi peso, el color de mi pelo y el número de hijos que tengo.

El peso atómico es un número empírico, es decir, un número determinado experimentalmente, como el peso de una persona, aunque por medios un poco más complicados, y a pesar de su nombre *atómico* es independiente de hipótesis y de teorías. Contra lo que el nombre hace presumir, dicen los principiantes, y continúa escribiéndose en muchos libros, no es el peso de un átomo. El átomo es una cosa demasiado pequeñita para que lo podamos coger con unas pinzas y pesarlo en una balanza: los pesos atómicos se determinaban con grande exactitud mucho antes de que los átomos, o sus efectos individuales, se hubieran visto y su existencia real se hubiera comprobado experimentalmente.

Cuando decimos que el peso atómico del oxígeno es 16, el del calcio 40, el del cloro $35\frac{1}{2}$ y así sucesivamente, queremos decir con ello simplemente que la experiencia ha demostrado que siempre que esos elementos se combinan lo hacen según esas proporciones en peso; 40 de calcio con 16 gramos de oxígeno, 40 kilogramos de calcio con 16 kilogramos de oxígeno, o 10 onzas de calcio con 4 onzas de oxígeno. La relación es siempre la de los números 40—16. Y cuando eso no es así, son múltiplos enteros de esos mismos números; por ejemplo: 40 gramos de calcio y 71 gramos, o sea el doble de 35.5, de cloro; 16 gramos de oxígeno y 71 gramos de cloro. Si habéis captado bien este sencillo y fundamental concepto, comprenderéis en seguida dos cosas: primera, la importancia extraordinaria que esos números experimentales tienen, pues todos los cálculos, desde los más elementales problemas que para lograr el anhelado 3 tiene que resolver el estudiante de química hasta los más complicados cálculos industriales o científicos, giran alrededor de esos números. Segunda cosa que creo veréis ahora con claridad: no puede existir una razón lógica para relacionar esos números empíricos con algo fundamental como es el conjunto de propiedades que caracterizan a cada materia elemental, es decir, a cada elemento.

Y sin embargo, como ya os decía, más de un químico antes de Mendeleyeef comenzó a vislumbrar que entre los pesos atómicos y las propiedades de los elementos, dos cosas al parecer tan independientes, debería existir alguna relación profunda. Dobe reiner, alemán, con sus triadas; Beguyer de Chancourtois, francés, con su tornillo telúrico; Newlands, inglés, con su ley de las octa-

vas, precisamente por este mismo orden cronológico y, posiblemente, ignorando cada uno los trabajos de sus antecesores, fueron descubriendo algunas relaciones, cada vez más extensas, entre los pesos atómicos y las propiedades de las materias elementales.

Newlands, el último de los químicos citados, se aproximó mucho a la verdad. En 1864 leyó un trabajo en la Sociedad de Química Inglesa; hacía observar una semejanza entre la escala musical y las propiedades de los elementos. En la escala musical, va creciendo regularmente la frecuencia o si queréis el número de vibraciones por segundo, con el tono de cada nota; como todos sabemos, cada ocho notas nos encontramos con una que, siendo diferente a todas las demás, posee calidades musicales semejantes a las de la octava superior o inferior. Newlands observó algo semejante con las diversas propiedades químicas de los elementos; los ordenaba como veis en orden creciente de los pesos atómicos comenzando por el hidrógeno, continuando con el litio, que todos conocéis, porque sus compuestos se gastaban en las aguas litinicas, según dicen, para disolver el ácido úrico; sigue el berilio, el elemento típico de las maravillosas esmeraldas; viene después el boro, uno de cuyos compuestos es vulgarmente conocido con el nombre de ácido bórico; continúa con el carbono, que en su forma más bella y pura sirve para realzar la belleza de nuestras damas y la vanidad de algunos hombres; va después el nitrógeno, del que tanto nos hablan como componente necesario de los abonos; le sigue el oxígeno, ¿quién no conoce el oxígeno que con el nitrógeno lo estamos respirando continuamente? El flour, que va detrás, no es tan vulgar, pero muchos de vosotros habréis oído que para grabar el vidrio se gasta un compuesto de ese elemento; y cuando llegamos al sodio, elemento que forma parte de la vulgar sal de cocina, de la soda, del hiposulfito que gastan los fotógrafos y de centenares de sustancias más, nos hallamos con un metal que, tanto por sus propiedades como por las de sus compuestos, es muy semejante al litio, que está ocho puestos antes; se ha cumplido una octava que se repite, con el berilio y el magnesio, con el boro y el aluminio, con el carbono y el silicio, con el nitrógeno y el fósforo, con el oxígeno y el azufre y por último con el fluor y el cloro; cada ocho puestos hay un elemento semejante; y así, aunque un poco más complicadas, continúan las cosas; sigue después el potasio, semejante al sodio y al litio; el calcio tan parecido al litio y al magnesio que se dice, como con los otros grupos, que esos elementos semejantes forman una fa-

milia; después las cosas ya no son tan sencillas; aquí se atascó Newlands y yo quiero también atascarme, para que vosotros no me tasquéis el freno. Pero fijémonos que saltando por esa línea ondulada continuamos con otros elementos, arsénico, selenio, bromo, que forman con los elementos de la misma columna unas familias perfectamente armónicas y definidas.

Newlands vislumbró, como veréis, una ley natural muy importante, pero le faltaba el valor y la visión profunda característica del genio: aun así y todo, lo que él proponía sonaba tan extraño que un colega le propuso irónicamente, en la misma sesión, que ordenara los elementos por orden alfabético y que tratase de encontrar nuevas relaciones entre ellos. Ya veís que el chiste del peso del individuo y el color de su pelo no es precisamente mío; a cada cual lo suyo.

Mendeleyeef fue más atrevido; posiblemente tenía un conocimiento más profundo de la química y, sobre todo, tenía fe en lo que veía, con visión profética. Aquí vemos una tabla tomada de la cuarta edición inglesa de sus *Principios de química*; sólo os la presento como curiosidad histórica; difiere muy poco de las que hoy usamos, y vamos a verla en forma más completa y clara.

Sólo quiero llamar la atención sobre los claros tan numerosos que aparecen en ese cuadro.

Aquí tenemos un cuadro completo, arreglado en forma más clara, aunque no os lo parezca a primera vista. No os asustéis demasiado al verlo, pues sólo quiero hacer resaltar las cosas más sencillas e importantes.

Sin entrar en demasiados detalles, aparece inmediatamente a la vista más profana en estos asuntos la regularidad de este dibujo que está debajo y que representa la relación entre el número de orden de cada elemento y una de sus propiedades químicas más importantes. Vemos claramente la regularidad de movimiento de los puntos que forman el dibujo, que aún sería más patente si no se hubieran querido meter en él demasiadas cosas.

Todas las casillas pintadas en color corresponden a elementos que eran desconocidos cuando Mendeleyeef publicó su sistema periódico. En lugar de los nombres están sus abreviaturas químicas, lo que se llama símbolos, que muchos conocéis, y que tampoco son demasiado difíciles de interpretar para el profano.

Hoy conocemos noventa elementos naturales; no os llame la atención el adjetivo *natural*; en seguida veremos por qué lo empleo: Mendeleyeef conocía veintisiete menos. Si hubiera sido abso-

lutamente fiel a la idea de ordenar rigurosamente los elementos por su peso atómico, al llegar a la casilla 21, hubiera colocado allí al Titánio (Ti) y toda la fila se hubiera corrido un puesto. Al llegar a las casillas 32 y 33, hubiera tenido que correr dos puestos, y así sucesivamente. Todo el orden natural se hubiera desarticulado, y la ley periódica no hubiera nacido.

Mendeleyeef era un sabio; la condición de todo hombre que sabe algo es reconocer, ante todo, la limitación de sus conocimientos, toda la inmensidad de las cosas que ignora.

Nunca pudo pensar que, en sus días, se hubieran descubierto ya todos los elementos que existen en la naturaleza; con fe en la verdad, que sólo sus ojos veían, colocó a los elementos existentes en los puestos que por sus propiedades les correspondían y dejó casillas vacías, como cunas, amorosamente preparadas, para los hijos de su imaginación, que algún día habrían de nacer.

Mas no se contentó con eso; le eran muy familiares las propiedades de los elementos conocidos; sabía perfectamente cómo varían al pasar de uno a otro elemento siguiendo una línea horizontal, o según una columna, y así podía prever cuáles deberían ser las propiedades de un elemento desconocido, deduciéndolas de las que poseían los elementos que rodeaban la casilla vacía.

Si por cualquier razón faltan en un piano algunas notas, cualquiera que sepa un poco de música nos dirá fácilmente cuántas vibraciones por segundo corresponden a cada una de ellas (en esta comparación, no del todo incorrecta, las vibraciones por segundo equivalen al peso atómico) y cuáles han de ser las cualidades musicales de las mismas.

Mendeleyeef bautizó a los elementos *non natos* con los nombres de *eka-boro*, *eka-silicio*, *eka-aluminio*, etc., y fijó para cada uno de ellos un gran número de sus propiedades: peso atómico, densidad, punto de fusión, fórmulas y propiedades de sus compuestos, y... hasta el método de trabajo que debería emplearse para descubrirlos. Para el *eka-aluminio*, por ejemplo, anunció que probablemente se descubriría con el espectroscopio; esto ocurría en el año de 1870.

El 20 de septiembre de 1875, el gran químico francés Wurtz leía ante la Academia de Ciencias de París una carta sellada que había recibido semanas antes. Era de un joven químico francés, cuyo nombre parece sacado de una novela de Ponson du Terrail, Pablo Emilio Lecoq de Boisbaudran, nacido en Cognac y descendiente de una antigua familia hugonote. Trabajaba en los labo-

ratorios de las minas de zinc de Pierrefitte, en la Vallée d'Argelés, en los Altos Pirineos. La comunicación decía, entre otras cosas:

“Entre las tres y las cuatro de la madrugada del 27 de agosto de 1875 he encontrado indicios de la probable existencia de un nuevo elemento, entre los productos del análisis químico de una blenda de Pierrefitte... La cantidad extraordinariamente pequeña de sustancia que tenía a mi disposición, no me ha permitido separar el nuevo elemento del exceso de zinc que contenía. Unas cuantas gotas de cloruro de zinc, donde había concentrado la nueva sustancia, dieron con la chispa eléctrica una raya principal muy clara en el violeta, situada en la división 417 de la escala del aparato. Percibí otra raya más fina en la división 404.”

Bautizó al nuevo elemento con el nombre de Galio, en honor de su patria. El análisis espectral era el método de análisis más delicado que se conocía en aquel tiempo. Hoy se conocen otros muchos más sensibles. Cada elemento, al ponerlo en la chispa, o en el arco eléctrico, produce una luz, que observada con el espectroscopio, determina rayas perfectamente características. Es así como el hombre puede conocer, mediante el mensaje que nos llega en la luz tenue de las estrellas, su composición. Lecoq de Boisbaudran fue llamado a París, para que en el laboratorio de Wurtz pudiera continuar su investigación con más medios de trabajo. Entre tanto, la comunicación aparecida en los *Comptes Rendus* llegaba a San Petersburgo, y caía en manos de Mendeleyeef. Le faltó tiempo para escribir a Wurtz:

“El galio que ustedes han descubierto es el eka-aluminio que yo predije. Su peso atómico es aproximadamente 68, su densidad 5,9; ha de tener un punto de fusión muy bajo; no será volátil; no se oxidará fácilmente al aire; sólo descompondrá el agua a la temperatura del rojo; los ácidos lo atacarán con dificultad, etc...”

¿Comprendéis el asombro de Wurtz y de la Academia de Ciencias al recibir tal carta y ver el atrevimiento de un hombre que se permitía anunciar con semejante tranquilidad todas las propiedades de una sustancia que nadie, ni su mismo descubridor, había visto todavía?

Con grandes trabajos Lecoq de Boisbaudran logra aislar 60 miligramos de galio y encuentra que su densidad es 4.7. Protesta Mendeleyeef, y escribe: “El galio que usted ha obtenido no está puro; su densidad no puede ser inferior a 5.9...” Así continúa la discusión entre San Petersburgo y París, hasta que todos

los datos obtenidos experimentalmente coinciden, con una aproximación maravillosa, con los que Mendeleyeef había calculado.

Lo mismo se repite más tarde con el ek-aboro, que descubre en 1879 en Upsala Lars Federico Nilson y que bautiza con el nombre de escandio (dedicado a Escandinavia) y con el eka-silicio que aísla Clemente Alejandro Winkler en Freiberg en 1886 y le da el nombre de Germanio. Mendeleyeef había fijado las propiedades de ambos en 1871, ocho y once años antes, respectivamente.

Bastan estos ejemplos para darnos cuenta de la importancia de la ley periódica. Es una pauta, es un casillero donde, al parecer, deben encajar todos los elementos del universo. El desarrollo de la ciencia no hace más que confirmar eso. Cuando a fines del siglo pasado Raleigh y Ramsay descubren toda una nueva familia de elementos en el aire, los gases inertes, toda ella encuentra su lugar adecuado en el sistema periódico; es la columna que aparece con color verde; y poseen propiedades que ni el mismo Mendeleyeef podía prever, pues nada se conocía semejante a esos elementos, en su tiempo. A pesar de todo no es necesario modificar la ley periódica. Cuando los Curie descubren los elementos radioactivos, Polonio, Radio y Activo, ya están preparadas las casillas que les corresponden. Cuando Soddy y Fayan descubren el fenómeno desconcertante de la isotopia, éste encuentra su interpretación en el sistema periódico, y pueden colocar todos los isotopos radioactivos, algunos de los cuales apenas si tienen una vida media de fracciones de segundo, en sus puestos correspondientes.

Al conjuro de la varita mágica, que fue su pensamiento genial, cada nuevo elemento que nace en los laboratorios, tras impropios esfuerzos de químicos y físicos, va obediente a colocarse al lugar que previamente le había fijado nuestro hombre. “La ley periódica no está amenazada por el futuro y sólo cabe esperar nuevas superestructuras y ampliaciones.” ¡Con qué precisión confirma la experiencia estas palabras proféticas del genio!

Pero las consecuencias que de esta ley derivan son aún mucho más importantes y, si queréis, más espectaculares de cuanto hasta ahora hemos visto someramente.

La primera consecuencia que salta a la vista, en forma inmediata, es sorprendente por su sencillez y magnitud.

Entre el hidrógeno, elemento de menor peso atómico, 1, y el uranio de peso atómico 238 hay sólo 92 casillas posibles. De ellas

90 están ya ocupadas, sólo quedan dos puestos libres: el 85 y el 87, que tientan la ambición de numerosos investigadores, a caza de esos dos elementos fugitivos, de los que por otra parte se conoce ya, gracias a la ley periódica, la mayoría de las propiedades.

Pero ya no hay más elementos posibles; si la ley periódica es cierta, todo el universo debe estar integrado por esas 92 materias fundamentales y sólo por ellas.

¿Os dáis cuenta de lo que para la ciencia supone una simplificación semejante de la composición del cosmos infinito?

“Espero que acabará por entenderse que cuanto he descubierto tiene un carácter universal y es de grande importancia para la interpretación del cosmos y de lo infinitamente pequeño.”

Surge inmediata la pregunta: ¿puede ser verdad, conclusión de significación filosófica semejante? Siempre ignoramos muchísimo más de lo que sabemos. Una concepción humana, por muy genial que sea, no puede abarcar nunca al universo entero. Todo esto es cierto; pero no es menos verdad que en cuanto alcanzan los métodos humanos de observación, y alcanzan muy lejos, no ha podido descubrirse, ni en los meteoritos que nos llegan como mensajeros del espacio infinito, ni en el sol, ni en las nebulosas o estrellas más remotas, ningún elemento nuevo que no conozcamos en la tierra. Y no porque no pueda descubrirse, pues bien sabido es que el helio se descubrió en el sol mucho antes de que fuera encontrado en la tierra... ¡a pesar de que lo estamos respirando continuamente en el aire!

“Lo que he descubierto tiene grande importancia para la interpretación del cosmos y de lo infinitamente pequeño.” Repito una vez más las proféticas palabras de Mendeleyeef. Del cosmos ya lo vimos. Y de lo infinitamente pequeño ¿también? El concepto de átomo, como una entidad o unidad indivisible, pues eso es lo que tal palabra significa, nace de la necesidad de encontrar una interpretación lógica y sencilla a las leyes de las combinaciones químicas. Como antes os decía, y sabe cualquier estudiante de química elemental, el calcio y el oxígeno, por ejemplo, se combinan siempre en la relación 40/16, es decir, cuarenta partes del uno y 16 del otro; o bien en la relación 40 de calcio y dos veces 16 de oxígeno; lo mismo ocurre con las demás materias elementales. Aquí quedan expresadas dos leyes básicas de la combinación química, que se cumplen con toda la exactitud que nos permiten los métodos experimentales.

Estas dos leyes a que aludo y otras muchas sólo pueden interpretarse imaginando que los elementos se hallan integrados por particulillas infinitamente pequeñas e indivisibles, que Dalton, el inventor de este concepto, denominó átomos. Durante mucho tiempo los átomos no eran más que eso: una ficción sumamente ingeniosa que os permitía interpretar un número cada vez mayor de hechos experimentales y sin conexión aparente entre ellos; pero ni el hombre más optimista se atrevió a pensar jamás que esos entes infinitamente pequeños pudieran alguna vez verse o medirse.

Rápidamente, en el transcurso del siglo pasado, se descubrieron hechos cada vez más numerosos, que podían siempre interpretarse con la misma imagen, la teoría atómica, de tal modo que esa ficción adquiría cada vez más visos de cosa real y tangible.

Llegó un momento, hace ya años, que los físicos encontraron medios que permiten contar, pesar y medir a los átomos, aunque no los vean, ni los puedan coger con pinzas. Tampoco podemos poner a la luna en una balanza, ni nos es posible, cuando menos por ahora, llegar a ella, y, sin embargo, conocemos muy bien su peso y sus dimensiones. Inclusive podríamos conocer esos datos con la misma precisión, si nunca la viéramos, por ejemplo, si siempre estuviera en la fase de luna nueva.

Es muy difícil dudar de la existencia real de algo que podemos contar, pesar y medir. Aunque nadie había visto los átomos, pocos dudaban de su existencia real, desde hace ya bastantes años.

Nos encontramos ahora con una de las ironías más divertidas de la historia del conocimiento humano. Se pasan los hombres de ciencia esforzándose en demostrar la existencia real de los átomos, cuando pueden respirar tranquilos, cuando ya están convencidos y convencen al resto de los mortales de la existencia del átomo, éste deja de ser átomo, es decir, deja de ser entidad, un ente indivisible. Y es precisamente la ley periódica, que en forma tan maravillosa ha servido para ordenarlos, uno de los muchos hechos naturales que dan el golpe de muerte al concepto de la indivisibilidad del átomo. No es nada difícil llegar a semejante conclusión; basta pensar un poco y sólo quiero haceros fijar en dos o tres hechos muy sencillos.

Fijémonos en los pesos atómicos de los primeros elementos: no olvidemos que esos números no son el peso real de los átomos respectivos; son números relacionados con las propor-

ciones en que se combinan los elementos. En todo caso, aceptada la existencia real de los átomos, nos dicen también la relación en que se hallan los pesos reales de los átomos; el átomo de calcio no pesa 40, ni el del oxígeno 16, pero el peso del átomo del calcio debe ser 2,5 veces más pesado que el del oxígeno, es decir, sus pesos estarán en la relación 40/16.

Notemos algo muy curioso: el helio que ocupa el puesto 2, tiene cuatro por peso atómico, justamente el doble; el litio ocupa el lugar tercero, y su peso atómico es cerca del doble, 6,9, y lo mismo le ocurre al berilio y al boro; para el carbono, nitrógeno, oxígeno, neón, magnesio, silicio, azufre y calcio, son justamente el doble; para los otros elementos el peso atómico se approxima bastante al doble del puesto de orden en la clasificación periódica.

Si el peso atómico fuera algo casual y arbitrario, como puede serlo el peso de un individuo, no habría medio de interpretar esa relación tan sencilla y curiosa, entre dos números que en apariencia no guardan dependencia alguna, y que se repiten cuando menos en los primeros elementos con una frecuencia que elimina toda posible casualidad; ese hecho tan sencillo no puede ser casual.

Tampoco puede ser casual otro hecho igualmente muy sencillo que descubrimos en cuanto nos fijamos un poco en el cuadro que tenemos a la vista.

La mayoría de los pesos atómicos es de números enteros, o se diferencian muy poco de un número entero. El hidrógeno lo dejamos al lado, pues el número 1 se fijó arbitrariamente, o sólo por razones de comodidad; vemos entonces que el helio, el berilio, el carbono, el nitrógeno, el oxígeno, el fluor, el sodio, el silicio, el azufre, el potasio y el calcio, tienen por peso atómico números enteros; si exceptuamos al cloro, para todos los demás elementos incluidos en el cuadro, los pesos atómicos se aproximan en menos de dos décimas a un número entero. Es mucha casualidad. Cualquiera diría que los átomos de todos esos elementos se engendraron por condensación de átomos de hidrógeno, 4 para el helio, 12 para el carbono, 32 para el azufre, etc. Idea muy vieja, pues ya la propuso Dalton hace más de cien años.

Otro hecho más quiero citaros: la existencia misma de la ley periódica. Si es verdad, y la experiencia lo demuestra plenamente, que existe una dependencia entre el peso atómico de un elemento y la manera de conducirse el mismo, esta dependencia no puede

interpretarse si el peso atómico es algo casual, y no está ligado íntimamente con algo que determine la estructura del átomo; pues de esa estructura ha de depender, de manera fundamental, la manera de conducirse, es decir, las propiedades del átomo en cuestión. Hablar de la estructura de una cosa, es lo mismo que decir que esa cosa debe ser algo compleja, constituida o formada por otras más sencillas; el átomo no puede ser, pues, ese ente individual e indivisible a que su nombre mismo alude.

Se conocen muchos otros hechos, de la más diversa índole, que despiertan las mismas sospechas. El descubrimiento de los fenómenos radioactivos las confirmó de pleno. Tomemos uno de los grupos más sencillos.

El radio se está desdoblando continua y espontáneamente (si queréis desintegrándose) en los elementos radón y helio; luego el helio debe ser una parte integrante del radio, puesto que sale de él; no podemos decir que el átomo de radio sea algo indivisible; además, una simple ojeada nos hace ver que si sumamos los pesos atómicos del helio (4) y del radón (222) tenemos el peso atómico del radio (226). Y también, si sumamos el número de orden del helio con el del radón, tenemos el número de orden del radio.

Cuando partimos un objeto en dos trozos, la suma de sus pesos es igual al peso del objeto primitivo; esto es de sentido común y vemos cómo ocurre en la división (desintegración) del átomo de radio.

En verdad, no es rigurosamente exacto; el peso atómico del radio no es 226 sino 226,05; en la desintegración se pierde, pues, un poquito de peso (diríamos más correctamente, de masa), a saber: 0,05 partes por cada 226,05; muy poquito es, en verdad, pero de grande importancia. Esa pérdida es la que equivale, precisamente, a la energía que queda libre en esa transformación radioactiva.

Pero hay todavía mucho más: no sólo se conserva prácticamente toda la masa, sino que se conserva también el número atómico, y éste en forma absoluta, $88 = 86 + 2$. Eso quiere decir, simple y llanamente, que tal número atómico, número de orden del elemento en el sistema periódico, debe estar íntimamente relacionado con la estructura del elemento; esa estructura debe definir el comportamiento del átomo. En qué forma está relacionada la estructura con el número atómico es otra historia; nos basta,

para mi objeto, ver o intuir que debe existir esa relación. Y fijémos a qué conclusión hemos llegado:

De la estructura debe depender el comportamiento: la estructura en una u otra forma está relacionada con el número de orden; luego el comportamiento de los elementos (sus propiedades) debe depender del número de orden (número atómico) que ocupa en el sistema periódico. Tenemos interpretada la ley de Mendeleyef.

El radio químicamente se conduce como otro elemento cualquiera; no hay ninguna razón para que el átomo del radio sea algo complejo, y no lo sea el del bario, tan semejante a él, o los átomos de los otros elementos de la misma familia. No vale la pena insistir sobre esto; hoy día se conocen bastante bien las estructuras de todos los átomos, estructuras que pueden encajarse perfectamente dentro de la ley periódica. Esa estructura va complicándose gradualmente desde el hidrógeno hasta el uranio, por la acumulación progresiva de tres cosas, que tal vez puedan reducirse a dos; masas, materias elementales, que reciben el nombre de protones y neutrones, y cargas eléctricas elementales, que se denominan electrones. No es difícil comprender que, cuando esa estructura se haga muy complicada, resulte poco estable y vaya deshaciéndose espontáneamente; es decir, que tengamos un elemento natural radioactivo; todos los elementos, desde el 84 en adelante, son radioactivos. Los numeritos que aparecen en cada casilla del cuadro definen *una parte* de la estructura del átomo respectivo.

Esa ley periódica descubierta sólo por la intuición de un hombre genial tiene hoy una interpretación tan rigurosa, que basta conocer el número de orden de un elemento, número que también se llama número atómico, para poder precisar la estructura de su átomo y, como consecuencia de eso, la mayoría de sus propiedades.

Conocer la estructura de una cosa es lo primero que se necesita para poderla construir o modificar. Y ya veis a qué consecuencia tan formidable hemos llegado. Hoy pueden crearse átomos que tengan una estructura determinada; el cómo se logra es otra historia, pero puede hacerse y se hace. Si creamos un átomo que tenga la estructura conocida del elemento 16, tendremos una sustancia con todas las propiedades del azufre. Si podemos crear un átomo que tenga la estructura del elemento 29 tendremos una materia igual al cobre y así sucesivamente.

Cuando en la ciencia se abre un nuevo camino para pensar, o

para trabajar, las consecuencias son siempre extraordinarias. En esto se halla precisamente el valor trascendental del trabajo de los *pioneers*, que, con su genio, abren la trocha y desbrozan el camino.

Conocido el método de trabajo, pueden lograrse cosas que hasta ese momento histórico eran inverosímiles, tan increíbles como es crear átomos nuevos, que no existen, por lo que sabemos, en todo el universo. Si existe un método que nos permite crear el átomo 20 (calcio) o el 53 (iodo), no hay razón fundamental que se oponga a que creemos el 93 o el 94, que no existen en el universo. Y las propiedades de esos átomos las vamos a conocer de antemano, pues han de ocupar su puesto en el sistema periódico, puesto que está íntimamente ligado a su estructura y a sus propiedades. Fue el sistema periódico lo que permitió orientar, en vía segura, esos increíbles trabajos contemporáneos, que dieron nacimiento al neptunio y al plutonio.

Bien sabida es la trascendencia que social e internacionalmente han tenido tales descubrimientos; es el problema angustioso de la energía atómica, que hoy gravita sobre la humanidad, a lo que directamente aludo.

Pero muy por encima de todas las consecuencias que para el futuro de la humanidad tenga el poder utilizar, para su bien o para su mal, esa nueva fuente de energía que le llegó a sus manos tal vez demasiado pronto, hay algo en todo esto que os cuento rápidamente, para mí mucho más importante, y de tal magnitud que sólo a un genio extraordinario le sería posible vislumbrar en toda su grandeza.

Hasta hoy el hombre sólo pudo trabajar con esas 92 materias elementales que en la naturaleza existen. Durante muchos siglos con muy pocas de ellas; desde hace unos decenios con todas, pues son muy pocas las que no han recibido útiles y, a veces, maravillosas aplicaciones en la ciencia y en la técnica.

Hoy el hombre tiene abierto el camino que le permite crear otras materias elementales inexistentes y, no lo olvidemos, conocer previamente sus propiedades, antes de que nazcan en los laboratorios. Sin grande esfuerzo de la imaginación nos podemos dar cuenta del panorama tan inmenso que la humanidad tiene ante sí; sólo vislumbrarlo ciega y sobrecoge el espíritu más valeroso.

Como comprendéis, no era mi propósito traeros nada nuevo en esta lección, y nada nuevo que no conozca cualquier persona

medianamente enterada de estos asuntos que os he contado. Me proponía, y no sé si lo habré logrado, algo que intenté muchas veces, y sin modestia lo confieso, conseguí en bastantes ocasiones. Valorizar el trabajo de los grandes hombres del pasado para que sirvan de ejemplo y estímulo a la juventud, los hombres del futuro. Excitar el interés y despertar la curiosidad, por problemas que, aun siendo vulgares, tienen casi siempre un fondo de inagotable interés, y unas proyecciones insospechadas, cuando se examinan con un poco de cariño y de buena voluntad.