

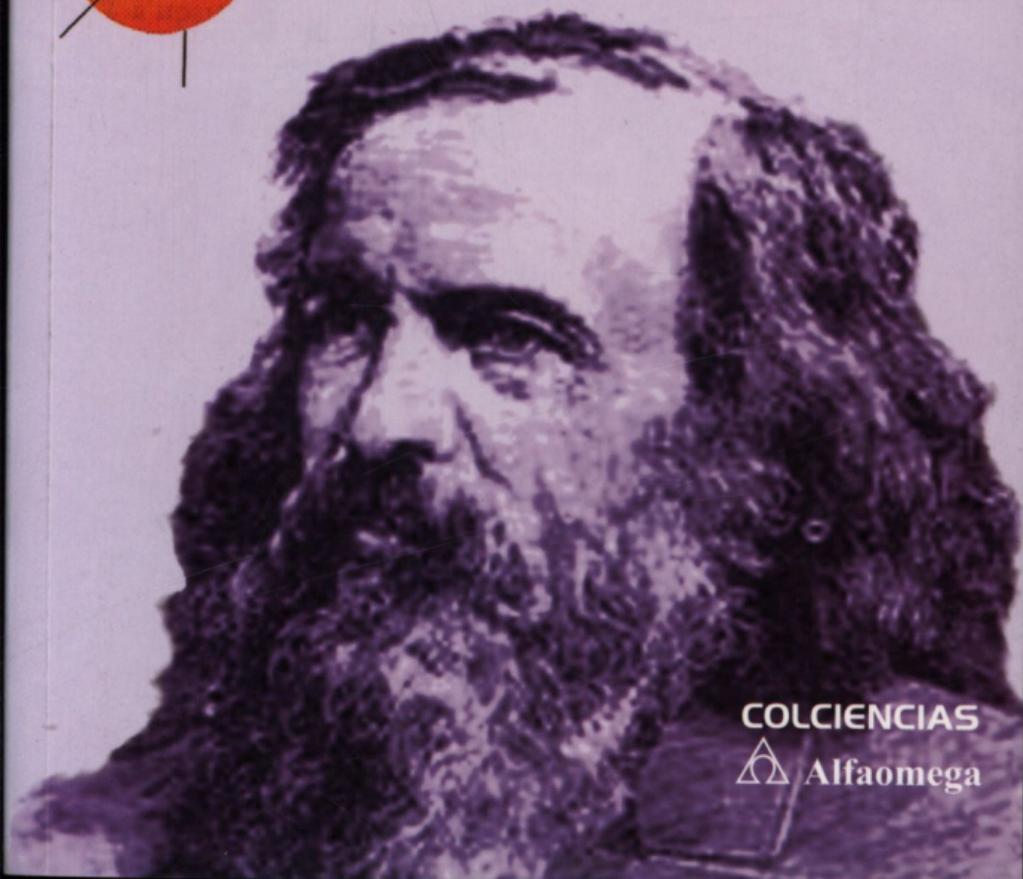
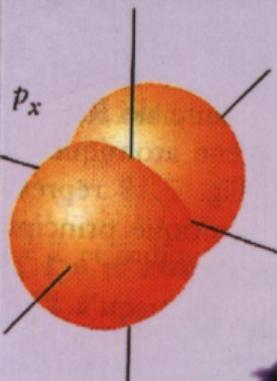
VIAJEROS DEL CONOCIMIENTO

# E L QUÍMICO DE LAS PROFECÍAS

Dimitri I. Mendeléiev

Horacio García

$p_x$



COLCIENCIAS  
 Alfaomega

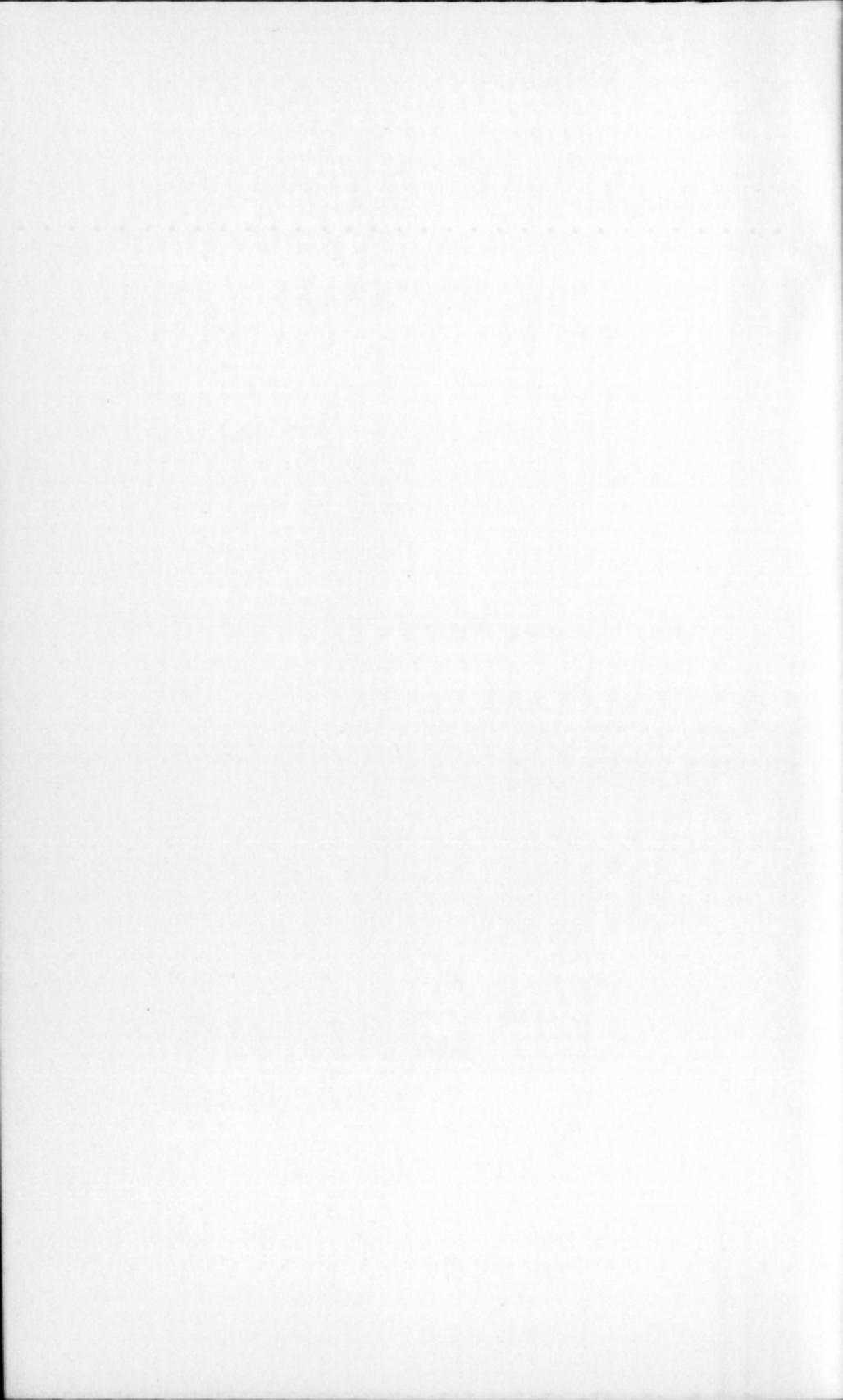
Mendeleiev, Dimitri Ivanovich,  
1834 - 1907

Química - Historia - Rusia

elementos químicos - Historia

Tabla periódica química - Historia

Químicos rusos



**Viajeros del conocimiento**

Colección dirigida por  
Victoria Schusheim

*El químico de las profecías*

Cubierta: Alfaomega Colombiana S.A.

Edición original publicada por  
PANGEA EDITORES  
© PANGEA EDITORES, S.A. de C.V.

ISBN 968-6177-30-2

Para esta edición autorizada para  
COLCIENCIAS en Colombia:  
© 2003 Alfaomega Colombiana S.A.

ISBN 958-682-508-6

Impreso y hecho en Colombia  
Printed and made in Colombia

# El químico de las profecías

Dimitri I. Mendeléiev

Horacio García



A mi hija Marina, en recuerdo  
de los divertidos momentos  
compartidos, tratando de  
hacerle agradables sus primeros  
contactos con la química

# Índice

|  |    |
|--|----|
| El mundo de Mendeléiev                                 | 9  |
| Textos de Mendeléiev                                   |    |
| <i>Fundamentos de química</i>                          | 73 |
| Donde otra vez parece que nos equivocamos de personaje | 91 |
| Índice analítico y glosario                            | 99 |



# **El mundo de Mendeléiev**



## Introducción: donde parece que nos equivocamos de personaje

Los presos despertaron sobresaltados ante el rumor de pasos y el entrechocar de sables. Por la estrecha ventanilla aparecía la pálida luz del amanecer del 22 de diciembre de 1849. Chirrió la llave en la cerradura y la puerta de una de las celdas de la fortaleza de Pedro y Pablo, en San Petersburgo, se abrió para dar paso al oficial de guardia y al inspector de la prisión.

Los acusados recibieron sus ropas de civiles y procedieron a obedecer la orden de vestirse rápidamente.

Unos carruajes, rodeados de una fuerte escolta de soldados de caballería, los esperaban en la neblina del exterior. Era un poco más de las seis de la mañana y hacía mucho frío. Alguien ordenó: "¡Uno por coche!", y una vez así distribuidos, el convoy se puso en marcha.

"¿Hacia dónde vamos con la escolta militar?", se preguntó Dostoievski, el futuro autor de *Crimen y castigo*. ¿Los conducirían ante un jurado militar?

El viaje, desagradable, se alargaba, y parecía que salían de la ciudad cuando por fin los coches se detuvieron; se abrieron las portezuelas y los asustados presos descendieron en un campo nevado.

Pronto reconocieron el lugar. Se encontraban en la pla-

za de armas del regimiento Semenovski y a su alrededor se congregaba una multitud de más de cuatro mil personas; una multitud extrañamente silenciosa: mujeres del pueblo con la cabeza cubierta con pañuelos anudados bajo la barbilla, barbudos comerciantes envueltos en pieles, estudiantes con la gorra calada hasta las orejas. . .

Eran los habitantes de San Petersburgo, en su mayoría pobres, que habían acudido a presenciar el desenlace del escándalo; a ser testigos de la justicia del zar Nicolás I.

En el centro de la plaza aparecía una tarima y en ella unos postes de madera; al frente, rodeándola, se encontraban formados numerosos soldados de infantería. “¡En fila!”, ordenó un oficial. Empuñando una cruz, un pope, vestido de negro, se puso al frente y el cortejo de acusados inició la marcha rumbo a la tarima.

Uno de los infelices sujetos llegó de pronto a una terrible conclusión que expresó en voz alta: “¡Nos van a fusilar!”

“¡No es posible!”, pensó Dostoievski. Su complot contra el zar había sido inofensivo. Ni habían tomado las armas, ni habían incitado a nadie a hacerlo, aun cuando en alguna de sus exaltadas reuniones alguien hubiera opinado en voz alta que eso era lo necesario. Por supuesto, habían denunciado la triste situación de Rusia, la esclavitud de los campesinos, la corrupción de los gobernantes, el atraso económico, la injusticia social mantenida en los tribunales, el hambre del pueblo. . .

Pero al fin de cuentas, era un grupo de jóvenes dispuestos a entregarse a un ideal para mejorar la vida de sus compatriotas; nunca representaron un peligro real para el gobierno. La pena de muerte era desproporcionada ante lo que había sido considerado su delito.

Después de subir al patíbulo, el cortejo se detuvo. Destacando sobre el cielo de color gris de la mañana fría, un auditor en el centro de la tarima empezó a leer, con monótona voz, el texto de los supuestos crímenes y la sentencia del primero de los condenados.

El infeliz palideció al escuchar el final: “. . . ¡condenado a muerte!”. Sin pausa el auditor pronunció otro nombre y repitió la lectura: “. . . ¡condenado a muerte!”. Uno tras otro, golpe tras golpe, todos los acusados oyeron el anuncio de su condena. Dostoievski era el sexto de la lista: “No nos lo merecemos”, pensó, “¡es injusto!; ¡es despiadado!; es cruel y tonto. ¡Nos van a hacer mártires!”

Cuando el auditor terminó la lectura el pope descendió de la tarima, dejando a los condenados con un grupo de soldados que los ataban a los postes.

Ante los sollozos de unos, el castañetear de dientes de otros, la serenidad de algunos más, Dostoievski cerró los ojos, mientras los soldados colocaban capuchas a los tres primeros condenados.

Sonó un clarín y tres pelotones de soldados salieron de las filas cargando sus armas, para colocarse frente a los encapuchados.

“¡Preparen! . . . ¡apunten! . . . ¡fuego!” la voz del militar que transmitía las ordenes era clara y vibrante, firme y decidida. ¿Tendría conciencia de lo que implica disponer, por encargo, de la vida ajena?

El flujo del tiempo pareció detenerse. El silencio se hizo más profundo en toda la plaza, esperando la descarga.

Pero la descarga no se producía. “¿Por qué no disparan?” Uno de los prisioneros, con admirable calma, liberó sus brazos y se quitó la capucha, mirando con curiosidad.

Dos soldados se acercaron y, ante la incomprensión general, empezaron a desatar a los que, todavía, esperaban la muerte.

El auditor se adelantó de nuevo y con la misma voz monótona de antes, leyó otro documento:

“Habiendo merecido los culpables la pena de muerte según la ley, son indultados por la clemencia infinita de su majestad, el zar.”

“Clemencia infinita” de quien, sin embargo, no podía comprender el sufrimiento al que había sometido a aquel grupo de patriotas, ni la crueldad del tormento que les ha-

bía hecho padecer. Tormento y sufrimiento tan insoportables para Grigoriev, uno de ellos, que en aquel momento, en el límite de su resistencia mental, perdió la razón.

En Dostoievski, en cambio, el indulto provocó una intensa alegría. Con el tiempo, recordaría ese instante como el más feliz de su existencia.

La pena de muerte fue modificada por una condena a cuatro años de trabajos forzados en Siberia. En la nochebuena de ese año, 1849, Dostoievski salió deportado de San Petersburgo y conducido a la población siberiana de Tobolsk, a donde llegó en enero de 1850.

Tobolsk era una de las fronteras de la civilización. Más allá se extendía el amplísimo territorio, casi despoblado, del ártico ruso, cuyos límites llegaban, por un lado, a Finlandia y, por otro, a Mongolia; por allá los inmensos bosques europeos, por acá, la interminable estepa asiática.

La población de Tobolsk estaba constituida por muy diferentes razas y grupos humanos: circasianos, polacos, mongoles, moscovitas y ucranianos atravesaban sus calles. Una minoría de la misma era gente culta, capaz de aprovechar los servicios de una buena escuela: el Gimnasio Clásico, y esa minoría se veía reforzada por algunos grupos de deportados políticos, liberados ya de la pena de trabajos forzados, que mantenían contacto con el exterior, conservaban sus inquietudes y participaban en actividades que los sostenían, moral y económicamente, en el exilio.

Entre ellos se encontraba un grupo de revolucionarios, llamados "decembristas", porque el 14 de diciembre de 1825 habían participado en un levantamiento contra el entonces nuevo zar, Nicolás I, exigiendo la realización de urgentes reformas, como la liberación de los siervos.

Allá en Tobolsk, los funcionarios de la administración zarista seleccionaban a los presos para repartirlos entre las casas penitenciarias, mientras se les enviaba más al interior de Siberia, a la fortaleza-presidio de la población de Omsk.

Las mujeres "decembristas" de Tobolsk se preocupaban de ayudar especialmente a los presos políticos, aque-



Los presos políticos rusos eran deportados a Siberia.

llos que, como sus maridos en 1825, habían sido condenados por luchar por la liberación. Gracias a sus cuidados, Dostoievski sufrió menos al llegar a Siberia, aunque no pudo evitar ser marcado en los antebrazos y omóplatos con las letras "SK", que lo identificaban como deportado.

Para los presidiarios, culpables de asesinato en su mayor parte, se reservaban las letras "KAT" y para los evadidos y vueltos a capturar, considerados los más peligrosos para el régimen zarista, la marca "SB".

En aquel lugar, Tobolsk, en el año de 1848, se incendió una fábrica de vidrio, dejando en apurada situación económica a su dueña.

La diligente mujer había sufrido el año anterior la muerte de su marido, el exdirector del Gimnasio Clásico, quien años antes había tenido que renunciar a su cargo, al quedarse ciego.

Aquella mujer llegó a ser madre de 17 hijos. Uno de ellos, el octavo en el orden de nacimiento, había llegado a este mundo en Tobolsk, el 7 de febrero de 1834, según fecha del antiguo calendario ruso. Tenía 13 años cuando murió su padre, 14 cuando se quemó la fábrica de vidrio con la que su madre sostenía a la familia y 16 cuando Dostoievski llegó a Tobolsk. Se llamaba Dimitri Ivánovich Mendeléiev y es el personaje central de nuestra historia.

Había recibido sus primeras clases de química de un emigrado que llegó a Tobolsk.

Como puedes ver, lector amigo, no nos hemos equivocado de personaje.

## **El imperio ruso en el siglo XIX**

Mientras Europa se transformaba gracias al desarrollo industrial y educativo, Rusia se rezagaba lamentablemente.

Pasadas las guerras napoleónicas, todo el continente se conmovió con una serie de movimientos revolucionarios que parecían saltar de país en país, pero que en realidad



La aristocracia europea tuvo que ceder privilegios y no tardaron en presentarse reformas sociales en diversos países del continente.

respondían a las mismas inquietudes de libertad y sentido de la dignidad humana, despertadas por la revolución francesa y difundidas más a pesar de Napoleón que gracias a él.

La aristocracia europea tuvo que ceder privilegios y las reformas sociales y legales no tardaron en presentarse, de Inglaterra a Francia, de Francia a Austria y Prusia, de Prusia a Italia, a Portugal. Europa cambió porque tenía que cambiar para adecuarse a las nuevas condiciones de producción creadas por la revolución industrial.

La necesidad de preparar y capacitar a los obreros para atender las nuevas máquinas, así como la de preparar recursos humanos para perfeccionarlas, actuaron como estímulo de la educación; al extenderse la instrucción, las nuevas generaciones, más educadas, resultaron menos dóciles y más conscientes de sus propios derechos y de su capacidad para intervenir en las decisiones de interés común. Como fruto de la rebeldía de esas clases mejor preparadas frente a la clase dominante, en la mayor parte de las constituciones y códigos civiles de los países europeos se introdujeron cambios progresistas.

Europa se modernizó al democratizarse y entrar en plena etapa de desarrollo capitalista. Pero no sólo Europa; al otro lado del mar otra industria y otro capitalismo, el de Estados Unidos, entró en franca revolución para competir, primero, y superar, después, al europeo.

Frente a estos cambios acelerados, Rusia se encontró incapacitada por dos grandes problemas no resueltos: el de la esclavitud de los siervos, y el atraso industrial. Su reacción, muy lenta, le llevó todo el siglo, y al no poder escapar de sus contradicciones pacíficamente, desembocó irremediablemente, al iniciarse el siglo XX, en la gran revolución de octubre.

Sin embargo, la necesidad de industrializarse era tan fuerte, que ya en 1830 funcionaban alrededor de 1 800 talleres que ocupaban a cerca de 340 mil obreros, escaso número si consideramos que la población superaba ya los 36 millones de habitantes.

La competencia con el resto de Europa estimuló la transformación de talleres en fábricas; en 1850 ya eran 2 800 los talleres y 860 mil los trabajadores, de los cuales 530 mil eran asalariados que hacían cada vez más dependientes a las empresas de la mano de obra, obligándolas a sujetarse a la ley de la oferta y la demanda.

Un primer éxito en esta industrialización se alcanzó en la producción de algodón. A partir de 1840 esta industria, que se había iniciado en Rusia en la segunda mitad del siglo XVIII, utilizaba como materia prima, casi de manera exclusiva, el hilo producido en el país.

Hacia 1820 se introdujeron las primeras laminadoras en las fundiciones rusas y hacia 1835 el proceso de fusión en los altos hornos de los Urales contempló otra novedad: el uso de *aire caliente* como comburente.

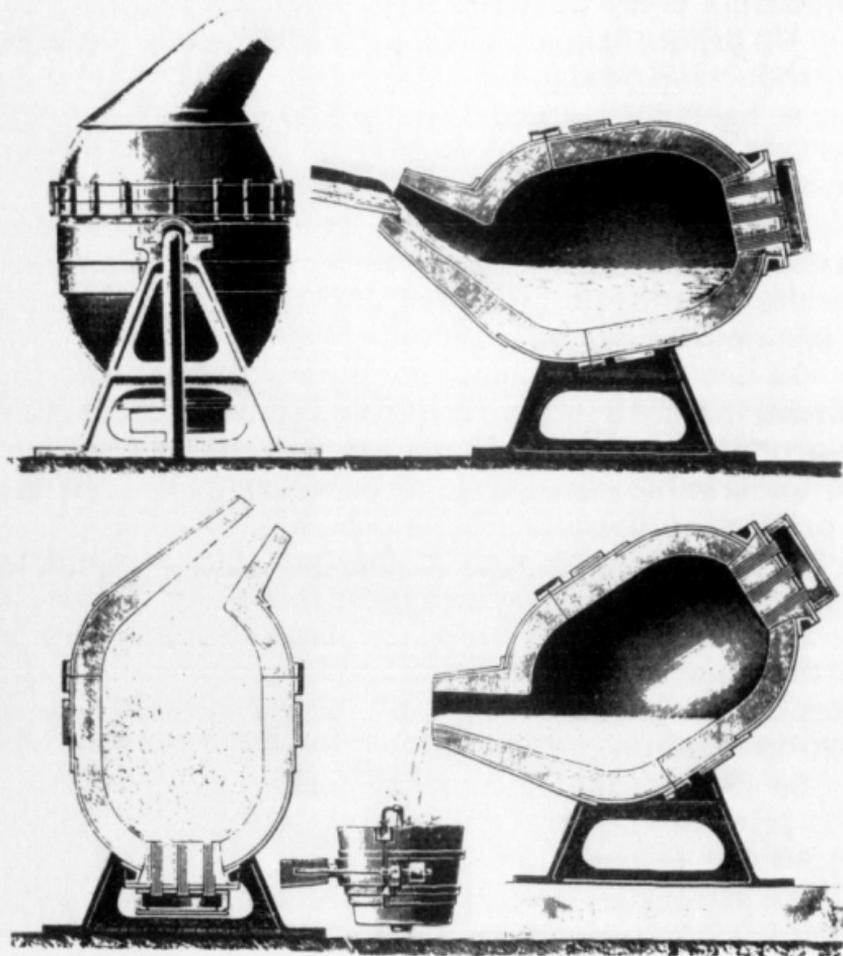
La demanda de equipo mecánico se incrementó fuertemente hacia 1850; Rusia, que no estaba en condiciones de producirlo, se vio obligada a importarlo, con lo que la economía se hizo sensiblemente dependiente de Inglaterra, el principal proveedor.

Todo este cambio vino acompañado de la también lenta transformación de las comunicaciones.

El primer barco de vapor que navegó en Rusia lo hizo en 1815 por el río Neva, pero transcurrieron cinco años antes de que los barcos de vapor surcaran otros ríos; en 1820 lo hicieron por el Kama y el Volga.

En 1839, cuando Mendeléiev tenía 5 años, se inauguró la primera vía férrea rusa experimental, entre San Petersburgo y el arrabal de Páviosk.

Los retrógados propietarios de siervos se escandalizaron, y se sintieron amenazados por un medio de comunicación que daba a sus esclavos la posibilidad de huir en busca de mejores oportunidades de vida, por lo que se opusieron tenaz y ferozmente a que se ampliara la red ferroviaria. Las autoridades se dejaron presionar y eso retrasó hasta 1850 el funcionamiento de las líneas comerciales de barcos de vapor en el Volga y la construcción de las vías



Hacia 1835 se utilizaban en Rusia las nuevas técnicas metalúrgicas desarrolladas en Europa.

entre San Petersburgo, Moscú, Varsovia y la frontera austriaca, con las que se pensaba abrir la comunicación masiva con Europa.

En 1850 sólo se habían terminado los tramos San Petersburgo-Moscú y Moscú-Varsovia, con un tendido total de escasos 1 066 kilómetros, muy pocos comparados con los que ya operaban en el resto del continente y en Estados Unidos, país en el cual —y el dato nos sirve para darnos cuenta del enorme contraste—, en 1830 sólo se habían tendido 37 kilómetros de vía férrea, pero en 1840 se había llegado a los 5 324 kilómetros y en 1860 a los 50 mil.

Los terratenientes rusos presentaban una terca y absurda resistencia a la modernización de las comunicaciones, cuando al país le era más importante que nunca intensificar sus exportaciones agrícolas, dado que en el resto de Europa la industrialización acelerada había causado el abandono del campo y el desplome de la producción de trigo, con lo que los productos del campo tenían una gran demanda. El principal importador del trigo ruso era Inglaterra, país que absorbía el 40% del total de las exportaciones.

Las limitaciones que ellos mismos creaban a la exportación llevaron a los terratenientes a buscar ganancias en el mercado interno, lo que elevó el consumo local.

En 1851, cuando la población rusa alcanzaba la cifra de 68 millones de habitantes, las diferentes categorías de campesinos constituían el 80% de la misma, mientras los terratenientes, la nobleza y la aristocracia apenas representaban el 1%.

Como había ocurrido en otros países, el crecimiento de la agricultura, el comercio y la industria provocó la demanda de personal más calificado, lo que determinó la aparición de más escuelas medias y superiores. Así, entre 1850 y 1860, mientras Mendeléiev pasaba de los 16 a los 26 años de edad, se amplió la red de escuelas primarias, se impuso la necesidad de terminar con la servidumbre y aumentó la tensión social.

Las rebeliones campesinas, protagonizadas por los sier-

vos a lo largo de todo el siglo, se hicieron más frecuentes. De 281 producidas entre 1801 y 1825, el número se elevó a 576 entre 1826 y 1850. La situación, insostenible hacia 1860, a pesar del continuo uso de la fuerza bruta para controlarla, obligó al gobierno a ceder ante la opinión pública, introduciendo cambios en las leyes básicas del país. Se anunció una reforma judicial que establecía la igualdad formal ante la ley de todos los ciudadanos.

Pero era una simple apariencia: en la práctica se siguió permitiendo el ejercicio de tribunales locales especiales, que mantenían los privilegios de la clase dominante y su derecho a castigar corporalmente, a latigazos, a los campesinos; se trataba de una reforma judicial que establecía legalmente la incompetencia de los tribunales ordinarios para juzgar los delitos cometidos por los agentes de la administración, con lo que éstos siguieron actuando tan impune y corruptamente como siempre.

Así, pese a esa reforma legalista, mucho más aparente que real, la autocracia zarista siguió obedeciendo una sola ley: la de su capricho.

Todo esto sólo podía tener una consecuencia: acentuar el disgusto y provocar que los movimientos revolucionarios entre los intelectuales y los estudiantes se intensificaran y multiplicaran. La energía de las protestas, su persistencia, la difusión de las ideas en revistas como *El Contemporáneo* y *La Gran Rusia*, el movimiento de la policía que arrestaba y enviaba a Siberia a los revolucionarios, todas las cosas que ocurrían, mostraban que se estaba llegando a un punto crítico; eran las señales precursoras de una gran revolución.

En las universidades, identificadas como nidos de revolucionarios por el gobierno del zar, seguramente porque eso son por fortuna, aunque no en el sentido en que lo definen los estrechos criterios policiacos, se mantuvo una vigilancia especial. Los maestros, en contacto con la inteligencia y sensibilidad de los estudiantes, se veían obligados a plegarse a las exigencias del régimen o a oponerse a ellas,

siempre con peligro de verse sujetos a la represalia.

Mendeléiev, a su tiempo, tuvo que abandonar su cátedra, por apoyar a los estudiantes.

En 1866 uno de éstos, D. V. Karakozov, atentó contra la vida del zar Alejandro II. Apresado por la policía, fue condenado a muerte y ahorcado. La represión se extendió a las universidades de San Petersburgo, Moscú, Kiev y Odesa, provocando que se intensificaran la protesta y la rebeldía.

El 8 de marzo de 1881 un segundo atentado causó la muerte de Alejandro II, pero sin que la misma provocase ningún trastorno de fondo en la estructura del sistema; la situación se mantuvo sin cambios de importancia.

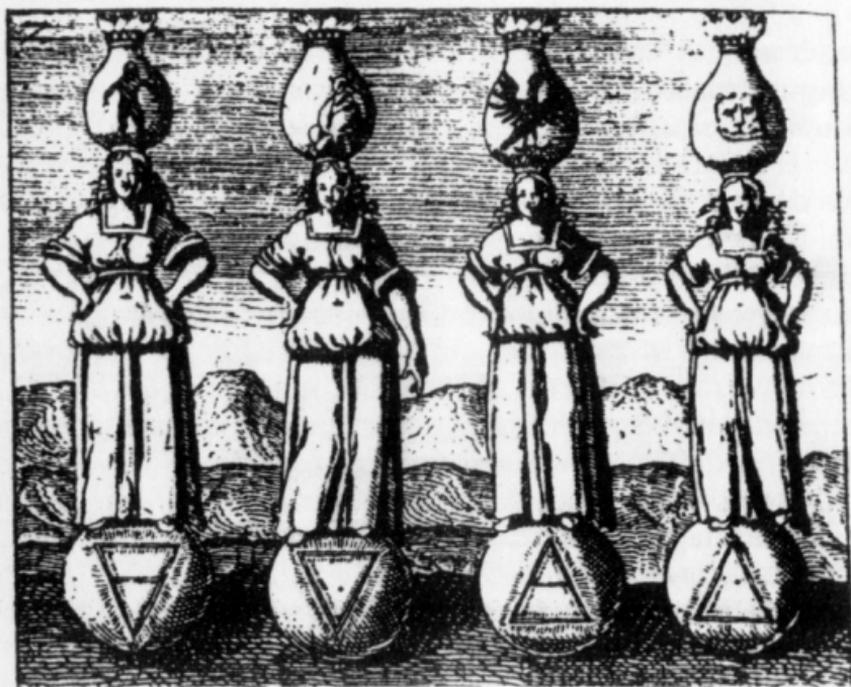
Durante la década de 1881 a 1890 se entró en un compás de espera. Los levantamientos campesinos se sucedieron hasta llegar a los varios centenares, la represión se mantuvo, nada parecía distinto y, sin embargo, el gran cambio se estaba gestando. El cambio de táctica dio sus frutos y el marxismo se extendió entre los obreros, que se organizaron y emprendieron su propia lucha.

Entre 1890 y 1900 una gran figura consiguió aglutinar la acción del núcleo más importante de revolucionarios y hacerse el líder capaz de avanzar hacia el cambio. Se trata de Vladímir Ilich Ulianov, el gran ideólogo de la revolución rusa, más conocido como Lenin.

Ésta es la época y lugar de Dimitri Ivánovich Mendeléiev. Éstos son los acontecimientos y problemas que le tocó vivir, a los cuales, como hombre inteligente y sensible, no pudo volver la espalda.

### **La química en la época de Mendeléiev**

La teoría de las cuatro sustancias fundamentales, el agua, el aire, el fuego, y la tierra, que fuera apoyada por Aristóteles y sostenida durante 24 siglos, se empezó a batir en retirada desde el siglo XVII, gracias a las investiga-



La teoría de las cuatro sustancias fundamentales se derrumbó por fin, tras regir durante 24 siglos el conocimiento de la naturaleza.

ciones del autor de *El químico escéptico*, el aristócrata inglés Robert Boyle.

Boyle se empeñó en demostrar que el mismo concepto de sustancia elemental, entendida como aquella de la que no pueden extraerse otras más simples, pero que a su vez es origen de otras más complejas, era un concepto falso. Para Boyle *no existían* las sustancias fundamentales o elementales y, para demostrarlo, hizo severos estudios de las sustancias conocidas consiguiendo, paradójicamente, afinar las técnicas del análisis a favor de la química, cuando su intención era desprestigiar a quienes con desprecio llamaba "los químicos", y que identificaba con los alquimistas.

A finales del siglo XVIII no sólo se había afirmado el concepto de sustancia elemental sino que, gracias a Antoine Laurent Lavoisier y sus colegas franceses Guyton de Morveau, Claude Berthollet y Antoine Fourcroy, la lista de elementos se había alargado a 33.

Lavoisier y sus colaboradores reunieron todos los elementos conocidos y propusieron una nomenclatura nueva para designar las sustancias; surgió así un lenguaje químico común que, superando todas las vaguedades previas, sirvió de punto de partida para el moderno.

La mencionada lista era muy interesante porque en ella aparecían, como elementos, además del wolframio, descubierto en 1783 por los hermanos Elhúyart, químicos españoles, la "luz" y el "calórico". Hoy sabemos, no sólo que la luz y el calor son dos manifestaciones de la energía, sino que, como demostró Einstein, *la luz tiene masa*. Pero en aquella época —finales del siglo XVIII— ni se había aclarado la naturaleza del calor, ni se había establecido el concepto de energía.

El mismo año en que el pueblo español se levantaba en armas contra las tropas invasoras de Napoleón y éstas sufrían su primera derrota en los campos andaluces de Bailén ante el ejército popular del general Castaños, demostrando a los asombrados europeos que la invencibilidad de los franceses era un mito; en ese 1808, cuando Benito Juárez

rez era un niño indígena de dos años, se publicó en Inglaterra una obra llamada a recuperar la aparentemente perdida teoría atómica.

Se titulaba *Un nuevo sistema de filosofía química* y su autor, John Dalton, se había apasionado por el estudio de la materia y sus transformaciones a partir de su interés por la meteorología y los fenómenos atmosféricos.

Si observamos el título de la obra, entenderemos de qué manera, todavía en aquellos primeros años del siglo pasado, la investigación sobre las propiedades y conducta de la materia se comprendía *como una parte de la filosofía*.

El término "científico" no había nacido aún. Galileo, Pascal, Boyle, Lavoisier, Newton y Dalton, como muchos otros, se consideraban *filósofos*, esto es, personas en busca de la verdad acerca de esas propiedades. Se llamaban "filósofos de la naturaleza", y para ellos razonar y pensar sobre lo que estudiaban era inseparable del razonamiento y pensamiento sobre las grandes cuestiones de la filosofía: la vida, la muerte, la eternidad.

Hombres de cultura integral, para ellos nuestro lema "la ciencia es una parte de la cultura, no una cultura aparte", debería ser una perogrullada.

Fueron hombres del siglo XIX los que iniciaron la enajenante separación de la cultura en dos partes, que desde entonces parecían ignorarse mutuamente y desconfiar una de la otra: la "humanística" y la "científica"; y nosotros, hombres del siglo XX, educados en esa dañina separación, hemos contribuido a acentuarla.

Pobre sentido dará a su saber el científico que no se conmueva ante las manifestaciones artísticas, quien no se sienta en primer término *ser humano* y, como tal, parte de una sociedad humana.

Ese filósofo de la naturaleza, John Dalton, escribió en 1808, en su *Nueva filosofía de la química*: "En todas las investigaciones químicas se ha considerado, con razón, que era importante *medir los pesos relativos* de las sustancias simples que entran en un compuesto."

Desgraciadamente, la investigación se detenía allí, cuando hubiera cabido deducir, de los pesos relativos en la masa total, *los pesos relativos de las partículas últimas o átomos de los cuerpos* y, de ahí, los números y pesos de éstos que entran en la composición de otras sustancias, lo cual hubiera permitido ayudar y guiar en las futuras investigaciones y corregir ciertos resultados.

Para entender el párrafo anterior necesitamos comprender a qué llamaban *pesos relativos* nuestros filósofos de la naturaleza.

Relativo es todo lo que se relaciona con algo. Los pesos de los átomos, medidos por Dalton, eran y son *relativos* porque se *relacionan* con el peso, elegido arbitrariamente como patrón de comparación, de los átomos de un elemento determinado.

Dalton eligió como patrón al elemento hidrógeno, el más ligero de los conocidos, asignándole, arbitrariamente insistimos, el valor de 1 al peso de sus átomos.

Si después, al pesar, por ejemplo, un determinado volumen de hierro, igual a otro volumen de hidrógeno, el de hierro resultaba 50 veces más pesado, Dalton concluía que *los átomos de hierro tenían un peso de 50 en relación con el peso de los de hidrógeno*. El peso atómico del hierro, *peso relativo*, quedaba establecido como 50.

Observa, lector amigo, que se trata de un número, 50, al que no se le añaden unidades de peso; no se trata de 50 kilos o de 50 gramos, sino sólo de un número que expresa el *número de veces* que el elemento hierro es más pesado que el elemento elegido como patrón, el hidrógeno.

La tabla de pesos atómicos que elaboró Dalton contenía muchos errores. No podía ser de otra manera porque nuestro filósofo no concebía la existencia de *moléculas*, conglomerados de átomos; pensaba que al unirse los elementos para formar sustancias compuestas los átomos de aquéllos se unían para formar *átomos compuestos*, cada uno de ellos *una* partícula, no un conglomerado de *varias* partículas. Por ejemplo, cuando pensaba en el agua, la consi-

deraba formada por partículas producto de la unión de *un* átomo de oxígeno con *uno* de hidrógeno, pero esas partículas eran también *átomos*, ahora del agua. Al calcular el peso atómico del oxígeno a partir de esa idea, llegaba a la conclusión que era de 7, lo que como sabemos es un error.

Sin embargo, esos errores no disminuyen el gran mérito de haber hecho pensar a muchos en la existencia de los átomos, relacionada con la propiedad de tener un peso característico.

No fue fácil que se aceptara esa idea. Aunque muchos investigadores creyeron en ella, otros muchos se resistieron a aceptarla. Todavía en 1853 C. Gerhardt, destacado químico, pensaba, refiriéndose a los átomos, que: "Nunca la ciencia ha sido más que hoy *un juguete de la imaginación* y esto se debe a la introducción *de esas entidades ficticias*." Y aún más tarde, en 1897, cuando gracias a las investigaciones que desde 1855 venían haciendo personajes como Plücker, Hittorf, Crookes y Thomson, se estaba frente a la evidencia de la existencia de corpúsculos con carga eléctrica negativa que formaban parte de los átomos, es decir los electrones, físicos tan destacados como Ernst Mach opinaban que tanto unos como otros, electrones y átomos, eran "concepciones metafísicas derivadas del *sentido positivista* de la ciencia".

La proposición de Dalton requirió *todo un siglo*, el XIX, para llegar a ser definitivamente aceptada, y esto gracias a la abrumadora cantidad de evidencias que se fueron presentando a consecuencia del trabajo de muchos investigadores posteriores a nuestro buen sabio.

Uno de ellos, especialmente importante para los químicos, fue Dimitri Ivánovich Mendeléiev.

## Los cazadores de elementos

El descubrimiento y aislamiento de nuevos elementos, que se produjo a pasos acelerados durante el siglo XIX, vino



Dimitri Mendeléeiev

a reforzar el concepto de sustancia elemental, entendida como aquella de la que no se podían extraer otras diferentes a ella misma, *por estar formada por un solo tipo de átomos*.

Uno de los investigadores más destacados en ese descubrimiento de elementos fue Humphry Davy, quien venía trabajando intensamente desde 1806 en el estudio de la electricidad y su efecto sobre las sustancias.

Ese año los trabajos de Davy recibieron un reconocimiento al obtener el premio que Napoleón había creado para estimular la investigación. Pero Davy era inglés y su país se encontraba en guerra contra Napoleón, por lo que se plantearon dudas acerca de si debería o no aceptarlo. El investigador decidió que si Napoleón había sido lo suficientemente justo como para otorgar el premio a un ciudadano del país enemigo, separando así los intereses permanentes de la ciencia de los pasajeros de la guerra, él, que estaba de acuerdo con esa forma de pensar, bien podía desafiar la opinión pública adversa, de modo que acudió a Francia a recibirlo.

Davy construyó la batería más potente de la época, con más de 250 placas metálicas colocadas en serie, y la corriente eléctrica que produjo la pasó a través de diferentes disoluciones de sustancias, y, después, a través de las mismas sustancias puras, fundidas.

El resultado fue una cascada de descubrimientos de elementos, aislados e identificados por primera vez: en 1807 el metal *potasio*, así llamado por haberlo separado de la que llamaban potasa y luego, una semana después, otro metal al que llamó *sodio* por haberlo separado de la *sosa*; en 1808 aisló el *bario*, el *calcio*, el *estroncio* y el *magnesio*.

Mientras tanto ese mismo año, en Francia, Joseph Louis Gay-Lussac y Louis Jacques Thénard, al estudiar las propiedades del recién descubierto potasio, para lo cual lo combinaban con diferentes sustancias, lograron aislar el *boro*, adelantándose nueve días al mismo Davy.

Unos estudios y descubrimientos llevaban a otros. En

1811 Bernard Courtois, quien se dedicaba a la preparación industrial del salitre, nitrato potásico, componente de la pólvora, añadió más ácido del que acostumbraba a las cenizas de algas que usaba y notó que se desprendían unos vapores muy vistosos de color violeta, que se solidificaban originando cristales oscuros cuyo brillo recordaba al de los metales. En 1814 tanto Gay-Lussac como Davy demostraron que se trataba de un nuevo elemento, al que Gay-Lussac propuso llamar *yodo*.

Davy fue también quien identificó al *cloro* como un elemento. Descubierta como gas amarillo verdoso por Karl Wilhelm Scheele y preparado muchas veces en la década de 1770, nunca fue identificado como sustancia elemental por su descubridor, quien siempre lo consideró *una cal* volátil, es decir lo que luego Lavoisier llamaría un *óxido*. Davy demostró que era un elemento y sugirió el nombre de *cloro*, que deriva de una palabra griega que significa *verde*, debido a su color.

De un cazador de elementos como era el investigador inglés podría esperarse que fuera un simpatizante de la teoría atómica, y sin embargo fue siempre, por el contrario, un crítico desconfiado de la misma.

Fueron muchos los cazadores de elementos del siglo XIX y no pretendemos citar aquí a todos. Sin embargo es importante mencionar a uno más: Jöns Jacob Berzelius, el gran investigador sueco que nació en 1779 y murió en 1848. En 1830 Berzelius era el químico de mayor prestigio entre sus colegas, quienes le debían el sistema de símbolos que aún usamos en nuestros días. Como cazador de elementos, Berzelius destacó desde 1803 cuando, en compañía del mineralogista Wilhelm Hisinger, también sueco, identificó al *cerio* como otro elemento, aunque en el descubrimiento se les adelantó el químico alemán Martin Heinrich Klaproth, descubridor del *uranio* y codescubridor del *telurio* y el *zirconio*. En 1818 Berzelius descubrió el *selenio*, en 1824 el *silicio*, en 1829 el *torio*.

Finalmente mencionaremos al francés Antoine Jérôme

Bálar, quien en 1826 descubrió un líquido pardo rojizo que aisló y al cual, identificándolo como elemento, llamó *bromo*.

Esta acumulación de conocimientos respecto a nuevas sustancias elementales no se produjo sola. Vino acompañada de otra relacionada con la identificación, aislamiento y estudio de las propiedades de sustancias en los seres vivos, a las que Berzelius llamó *orgánicas*.

De la alegría se pasó a la angustia. Muchos elementos, muchas sustancias, muchas propiedades, pero ¿cómo relacionar unos conocimientos con otros?; ¿cuántas sustancias quedaban por descubrir?; ¿cuántos elementos? ¿Había que concebir la química como un conjunto de conocimientos dispersos, acumulados y aislados unos de otros, o por el contrario era posible encontrar un orden en ese aparente caos?

### El orden asoma la oreja

En 1829 Johann Wolfgang Döbereiner, químico alemán, creyó encontrar un principio de relación, de orden, en las propiedades de los elementos. Al estudiar las del bromo, le llamó la atención que parecían encontrarse a mitad de camino entre las del cloro y las del yodo. Por lo pronto observó que las propiedades químicas de los tres elementos eran parecidas; el bromo era *líquido*, y así su estado físico se encontraba entre el del cloro, *gas*, y el del yodo, *sólido*. Pero observó algo más: al comparar sus pesos atómicos relativos, Döbereiner encontró que el del bromo, 79.91, correspondía muy aproximadamente al valor intermedio entre el peso atómico del cloro, 35.45, y el del yodo, 126.91.

¿Sería posible que existiera alguna relación entre los pesos atómicos y las propiedades de las sustancias? Intrigado, buscó otros casos semejantes entre los elementos conocidos hasta el momento. ¡Y los encontró! El mismo fe-

nómeno se presentaba con los elementos azufre, selenio y telurio.

En el primer grupo de tres, o tríada, como los llamó Döbereiner, el estroncio, de propiedades parecidas a las del calcio y el bario, tenía peso atómico de 87.63, aproximadamente intermedio entre el del calcio, 40.08 y el del bario, 137.36.

En la segunda tríada mencionada, el selenio, de propiedades parecidas a las del azufre y el telurio, presentaba un peso atómico de 78.96, intermedio entre 32, peso del azufre y 127.61, peso del telurio.

Entusiasmado, el investigador extendió su estudio en busca de otras tríadas que le permitieran establecer una norma general. Inútilmente. No encontró más. Lo que parecía ser un signo de la existencia de un orden de carácter general se perdía al tratar de aplicarlo a los demás elementos. Las observaciones de Döbereiner fueron consideradas como coincidencia, curiosa sin duda, pero sin importancia.

Faltaba la concordancia incluso en el valor encontrado para los pesos relativos de las sustancias, y los químicos dudaban unos de los resultados de otros, y muchos de la posibilidad de ponerse algún día de acuerdo sobre la existencia misma de los átomos.

¿Por qué no coincidían las distintas determinaciones?

La respuesta a esta pregunta estaba, como diría Bob Dylan, en "el viento". Estaba en una propuesta perdida de vista para todos: la de la existencia de *moléculas*, hecha en 1811 por un desconocido pero genial investigador italiano, Amadeo Avogadro.

En 1828 se produjo un importante suceso cuyas implicaciones estaban llamadas a cambiar profundamente el sentido de la química llamada orgánica. Un farmacéutico alemán con aficiones de químico, Friedrich Wöhler, al tratar de lograr cristales puros de una sustancia inorgánica, el isocianato de amonio, los obtuvo de una sustancia orgánica, producto característico del metabolismo de los seres vivos: la urea.

Wöhler que, como todos los químicos de la época, estaba convencido de la existencia de una imprescindible *vis vitalis*, fuerza vital, presente en los seres vivos, sin la cual era imposible la obtención de las sustancias que aparecían en éstos, se quedó sorprendido. Como al repetir cuidadosamente la experiencia llegara al mismo resultado para él inexplicable, escribió a Berzelius solicitando su opinión.

El gran químico sueco, tan convencido como el que más de la existencia de la *vis vitalis* y de la imposibilidad de preparar compuestos "orgánicos", esto es "de organismos", en el laboratorio, opinó que el mismo isocianato de amonio, dado que se preparaba a partir de una sustancia orgánica, el amoniaco, era en el fondo una sustancia orgánica que arrastraba con ella la *vis vitalis*, con lo cual, en su opinión, se aclaraba la duda.

No obstante, otros químicos quedaron intrigados. En 1845 Hermann Kolbe logró la síntesis del ácido acético a partir de sustancias indudablemente inorgánicas, con lo que la supuesta barrera entre sustancias inorgánicas y orgánicas se derrumbó; completó su demostración cuando en 1859 logró también pasar en laboratorio de unos compuestos orgánicos a otros, usando la corriente eléctrica.

El interés en la síntesis de compuestos llevó al francés Marcellin Berthelot a trabajar sobre ese tema; en 1854 obtuvo su doctorado con una tesis dedicada a la síntesis artificial de grasas naturales, lo que significó un importante paso hacia adelante. A continuación se dedicó sistemáticamente a la obtención de compuestos orgánicos en el laboratorio y los consiguió en gran cantidad.

Cuando Kolbe obtenía el ácido acético, Mendeléiev, el principal personaje de nuestra historia, tenía 11 años. Casi ha llegado el momento de dedicarnos a él. Casi, porque antes conviene presentar a tres personajes que ejercieron sobre el futuro sabio una fuerte influencia.



John Dalton

## Tres italianos ilustres

Amadeo Avogadro nació, vivió y murió en Turín, como un sabio al que casi nadie prestó atención mientras vivía, pero que tuvo amplio reconocimiento, después de su muerte, a partir de 1860.

Para la que fue su revolucionaria aportación a la química, Avogadro partió de una observación que había hecho Gay-Lussac en 1802: la variación de volumen de diferentes gases ante el mismo cambio de temperatura, era también la misma.

Para explicar por qué pasaba esto, el investigador italiano, que en ese momento —1811— era catedrático de física en la Universidad de Turín, propuso la siguiente hipótesis: “Volúmenes iguales de gases diferentes, a la misma presión y temperatura, *contienen el mismo número de moléculas.*”

Aquí aparecía un nuevo término: *molécula*.

A diferencia de Dalton, que pensaba que las sustancias compuestas estaban formadas por *átomos*, átomos “compuestos” producto de la unión de los átomos de los elementos, pero *átomos*, al fin, Avogadro imaginaba que los átomos de los elementos formaban conjuntos, como vecinos, unidos pero sin cambiar su estructura, a los que llamó *moléculas*.

Gracias a esto, cuando Berzelius propuso el nuevo sistema de símbolos, Avogadro pudo imaginar que el agua no estaba formada por la unión de *un* átomo de hidrógeno (H) y *otro* de oxígeno (O) dando la fórmula HO como pensaba Dalton, sino por dos de H, asociados a *uno* de O, lo que llevaba no sólo a la fórmula correcta H<sub>2</sub>O, sino a la también *correcta determinación del peso atómico del oxígeno como 16*, y, en consecuencia, a la corrección de muchos valores de pesos atómicos que se habían establecido a partir de un equivocado valor del peso del oxígeno.

La concepción de molécula implicaba otro concepto que se desarrollaría más tarde, el de la *unión química*, en-

lace entre los átomos, a la que se asignaría *un valor, una valencia*.

Stanislao Cannizzaro, el segundo de los personajes a los que nos referimos, nació en 1826 en Palermo, Sicilia, y murió en Roma el 10 de mayo de 1910. Desde niño presenció la lucha que presentaban sus compatriotas por la unificación de Italia, país que a partir del Congreso de Viena, realizado en 1815 por los representantes de los vencedores de Napoleón, había quedado repartido entre los austriacos, los húngaros y el papa. Los austrohúngaros dominaban el Ducado de Milán y la República de Venecia, influyendo también en Toscana, Módena y Parma; el papa era dueño de Roma y los Estados Pontificios y, finalmente, Nápoles y Sicilia tenían un rey extranjero, de la familia de los Habsburgo, emparentada con la casa reinante austriaca; probablemente era el reino más atrasado de Europa en aquella época.

El tercer personaje, héroe de dos mundos, nacido en Niza en 1807 y fallecido en la isla de Caprera en 1882, surgió repentinamente a la historia en 1834, cuando, desconocido capitán de marina mercante, se apoderó de una fragata de guerra en Génova, buscando la liberación de la ciudad. Fracasado el intento tuvo que huir, primero a Marsella y luego, al ser condenado a muerte, a Brasil. Su nombre: Giuseppe Garibaldi.

Ese mismo año, 1834, como se recordará, nació en Tobolsk, Siberia, Dimitri Ivánovich Mendeléiev.

### **Caminos de la vida**

Dimitri Ivánovich Mendeléiev nació el 8 de febrero de 1834, según el antiguo calendario ruso. Sus padres eran siberianos; la madre, María Dimitrievna Kornilieva nació en 1793 y el padre, Iván Pávlovich Mendeléiev, en 1783.

Iván Pávlovich era terrateniente y director del Gim-

nasio Clásico de Tobolsk, donde residían, cuando nació su hijo Dimitri.

Conviene aclarar que un gimnasio no era entonces lo que hoy entendemos por tal en nuestros países de habla castellana. Un *gimnasio* era una escuela de estudios que comprendían lo que aquí llamamos primaria, secundaria y preparatoria.

Al gimnasio se entraba para iniciar estudios formales y se salía para pasar a la universidad.

Dimitri fue el octavo de un total de 17 hijos que tuvo la pareja. El mismo año en que nació, su padre sufrió un ataque de cataratas, que se iría complicando en los años siguientes hasta causarle la ceguera total.

Cuando Dimitri tenía 3 años se inventó el telégrafo y en 1841, cuando iniciaba su educación formal, a los 7 años, Julius Robert Mayer postuló el primer principio de la termodinámica: "La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma."

Cannizzaro tenía 18 años y era un joven comprometido con la expulsión de los Habsburgo de Sicilia y Nápoles, cuando Mendeléiev tomaba sus primeras clases de química, con el recién llegado profesor del Gimnasio Clásico, el poeta y filósofo Piotr Pávlovich Ershov. Era un momento en que la ciencia se desarrollaba en todas partes, ensanchando el espacio mental del hombre. La matemática, por ejemplo, había avanzado lo suficiente como para poder descubrir en 1846, gracias a cálculos matemáticos de las órbitas de los planetas conocidos, un nuevo planeta al que se llamó Neptuno.

Al año siguiente, el mismo día en que Cannizzaro y otros patriotas italianos preparaban un nuevo levantamiento, el 12 de octubre, murió en Tobolsk el padre de Mendeléiev.

María Dimitrievna, mujer de carácter, vendió algunas tierras y con el producto compró una fábrica de vidrio que empezó a dirigir para sostener a su numerosa prole. Su hijo Dimitri era un adolescente de 13 años.

En 1848 un ejército de patriotas italianos que se enfrentó a los húngaros fue derrotado, en Custoza, por las tropas del general Radetzky, con lo que la rebelión que perseguía la unidad de Italia quedó limitada a las ciudades de Roma y Venecia. Se confió a Garibaldi, quien había regresado de Sudamérica, la defensa de Roma y el 30 de abril, luchando personalmente al frente de sus *bersaglieri*, infligió una derrota al general francés Oudinot. Pero Oudinot recibió más fuerzas y Garibaldi tuvo que huir rumbo a Venecia.

También Cannizzaro, ante la derrota del movimiento de liberación, se vio obligado a huir al extranjero para evitar ser fusilado por las tropas de los Habsburgo, dueños, por el momento, de Sicilia. Pasó a Francia, donde vivió hasta 1851, cuando regresó a Italia para asentarse en Cerdeña, la región más libre del país en aquel entonces.

Año de intensa inquietud social, en 1848 se produjo también el levantamiento popular en París, tan magistralmente narrado por Víctor Hugo en *Los miserables*, mientras en Alemania Marx y Engels redactaban el celeberrimo *Manifiesto comunista*.

Para la familia Mendeléiev el año fue difícil. La paciencia y entereza de la viuda Dimitrievna se vieron sujetas a nueva prueba cuando la fábrica de vidrio, que era su principal fuente de ingresos, se incendió. Como faltaba un año para que terminaran los estudios de Dimitri en el gimnasio, decidió quedarse ese tiempo, antes de intentar trasladarse a vivir a Moscú.

De acuerdo con el antiguo calendario ruso, atrasado 12 días respecto al utilizado en el resto de Europa, Mendeléiev terminó sus estudios preuniversitarios el 14 de junio de 1849, a la edad de 15 años. No existían entonces, en ningún lugar del mundo, los niveles de estudio equivalentes a la enseñanza media; se pasaba, como ya dijimos, después de ocho años de estudios generales, a los estudios universitarios.

María Dimitrievna, que tenía los mejores planes para

su hijo, pensó que debía ingresar a la Universidad de Moscú, una de las dos mejores del país, junto con la de San Petersburgo.

Moscú presentaba una ventaja: allá vivía su hermano Vasili, lo que permitía, además de un ahorro, la mejor integración de la familia. La viuda decidió viajar a Moscú llevando sólo a dos personas de su numerosa prole: su hijo Dimitri y su hija Elizabeth.

Hacia la primavera de 1850 estaba en aquella ciudad tratando de inscribir al hijo, pero sin lograrlo, porque las leyes rusas, procurando evitar la concentración masiva en la capital del imperio, disponían que los estudiantes se incorporaran a las universidades de sus respectivas gubernaturas y a los de Tobolsk les correspondía la Universidad de Kazán.

Incansable, la viuda intentó entonces que Dimitri fuera admitido en el Instituto Pedagógico Principal de San Petersburgo, escuela de altos estudios en la que había estudiado su esposo. Escribió una carta a D. S. Chízov, antiguo condiscípulo del padre de Dimitri, para que le ayudara a hacer las gestiones. Chízov se dirigió al director del instituto planteando que se trataba del hijo de un exalumno distinguido y, por fin, el 9 de agosto de ese mismo año, María Dimitrievna recibió la comunicación oficial de la aceptación de Mendeléiev.

Aparentemente, la lucha había mantenido en pie a la valerosa mujer, porque un mes después María Dimitrievna moría en San Petersburgo.

Es un muchacho huérfano de 16 años de edad el que inicia sus estudios universitarios; no es muy fuerte, ya que al año siguiente, en 1851, aparecen en su organismo los síntomas de una grave afección respiratoria, que lo acompañará toda su vida, como permanente amenaza mortal.

Mientras Mendeléiev realiza sus estudios universitarios, Cannizzaro, al que aún no conoce pero al que admirará más tarde, aporta lo suyo para superar la falsa teoría de la *vis vitalis* de Berzelius, por cierto curiosamente parecida a la

idea del *archeus* que el alquimista Paracelso propusiera en el siglo XVI.

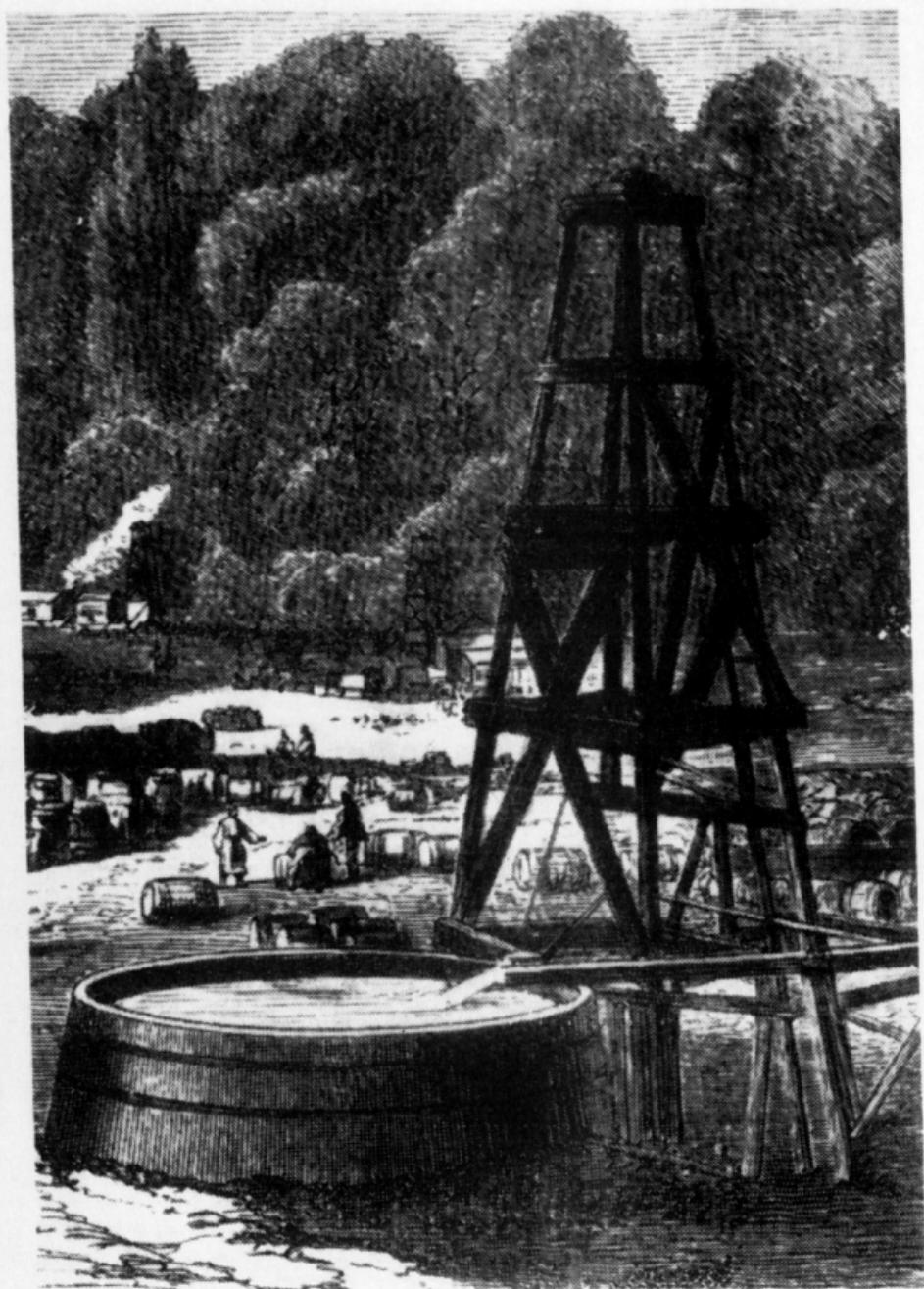
El italiano descubrió un método para transformar un compuesto orgánico, un aldehído (Alcohol DesHidrogenado) en otros dos compuestos orgánicos, un ácido y un alcohol, reacción conocida desde entonces por los químicos como "reacción de Cannizzaro".

A los 21 años Mendeléiev terminó sus estudios superiores de química, recibió la correspondiente comunicación escrita y presentó su examen profesional. Se le ofreció la plaza de profesor principal de ciencias naturales en el gimnasio de Simferópol, y en el mes de octubre de 1855 se encontraba en esa localidad. Pero el lugar, demasiado frío para él, dada su afección respiratoria, lo hizo enfermar gravemente; se vio obligado a trasladarse a Odesa, donde residió y trabajó, descubriendo su vocación de maestro, hasta el 30 de abril de 1856.

Surgió en él el deseo de conseguir un posgrado y regresó a San Petersburgo a presentar su solicitud para alcanzar la llamada "Magistratura". El 9 de septiembre presentó su "Disertación magistral" y "Defensa de tesis", sobre el tema "Volúmenes específicos". Ya podía solicitar plaza en la Universidad de San Petersburgo; lo hizo y se le nombró *Privat dozent*, profesor responsable del área de química, cargo que asumió durante 1857 y 1858.

La técnica sigue avanzando, los acontecimientos importantes siguen transformando la sociedad. Por ejemplo, en 1857 el mundo recibe el maravilloso regalo de la máquina de coser y en 1858 se tiende el primer cable transoceánico, desde el *Great Eastern*, enorme barco de vapor de 211 metros de eslora y 19 mil toneladas de desplazamiento, con capacidad para transportar cuatro mil pasajeros y seis mil toneladas de flete.

Mendeléiev decidió ampliar sus estudios en el extranjero. Entre Francia y Alemania optó por este último país y presentó una solicitud para acudir a la Universidad de Heidelberg, la cual fue aceptada y aprobada, el 15 de sep-



En 1859, en Estados Unidos, se perforó el primer pozo petrolero.

tiembre de 1858, por el consejo de la Facultad de Física y Matemáticas.

Mendeléiev inició su viaje el 14 de abril de 1859, dirigiéndose a Francfort y luego a Varsovia. Cuando llegó a esta ciudad se encontró con una sorpresa: en lugar de ser el 21 de abril como esperaba, le informan que es el 3 de mayo.

¿Qué ha ocurrido? Nada menos que *un cambio oficial de calendario en Rusia*; para nivelarlo con el europeo, a la generación de Mendeléiev el estado le quita 12 días. Todos los cumpleaños comprendidos en esos días, desaparecidos por decreto, desaparecen también y se retrasan un año más, aunque por cierto esto le importa muy poco a la mayor parte de la población rusa, compuesta por siervos ignorantes que ni siquiera están en condiciones de festejar cumpleaños, ni pueden en la enorme mayoría de los casos decir cuántos años tienen.

Mendeléiev se presenta en Heidelberg el 22 de mayo de 1859; aún no comienzan los cursos y, mientras esto ocurre, procede a darse una vuelta por Europa, aprovechando para conocer París y a los extraordinarios químicos de la escuela francesa. Regresa a Heidelberg el 23 de junio.

Dos químicos alemanes, Robert Wilhem Bunsen y su asistente Gustav Robert Kirchhoff, están utilizando una nueva técnica de análisis de sustancias por medio de un aparato que han desarrollado, el espectroscopio, y que los llevará, en 1860, a descubrir el *cesio* y el *rubidio*. Mendeléiev se inscribe en sus clases y en ellas hace un nuevo amigo, otro químico ruso, que se hará célebre como músico: Alexander Borodin. También conoce entre sus discípulos a un químico alemán que, con el tiempo, disputará su fama como descubridor de la ley periódica de los elementos: Julius Lothar Meyer.

En el mundo siguen ocurriendo cosas importantes. Ese año, 1859, aparecen las revolucionarias tesis de Darwin al editarse *El origen de las especies*, y se perfora el primer pozo petrolero en los Estados Unidos.

Por otra parte, en 1859, gracias a la inteligencia y sutil política del ministro Cavour, que ha sabido atraer a los franceses hacia sus intereses, la causa de la unidad italiana recibe un impulso cuando franceses y piemonteses derrotan a los austriacos en Magenta y Solferino.

La de Solferino es una batalla particularmente sangrienta. El suizo Henri Dunant, testigo de la misma, concibe allí la idea de fundar una institución médica que dé auxilio a los combatientes heridos. Nace así la Cruz Roja Internacional.

Pero Napoleón III, Napoleón "el pequeño" como lo llamará Víctor Hugo, emperador de los franceses, engaña a los piemonteses y en lugar de apoyar la idea de la unidad de Italia, reclama para Francia la Alta Saboya y Niza, concede el Milanesado al Piamonte y deja el Véneto en poder de Austria. Los italianos se indignan y se produce la sublevación en Toscana, Parma, Módena y La Romaña, regiones que pasan a ser parte del Piamonte.

Surge de nuevo el héroe, aparece Garibaldi y se lanza a la liberación de Nápoles y Sicilia. Desembarca en esta isla con un ejército de mil hombres, 1 089 para ser exactos; a su paso se incorporan campesinos a la lucha y los mil se convierten en poco tiempo en 4, en 5 mil hombres que avanzan irresistibles, haciendo huir a los austriacos.

Sin detenerse a descansar, Garibaldi atraviesa con sus tropas populares el estrecho de Mesina y cae sobre Nápoles. El acontecimiento enciende y moviliza a los napolitanos, los soldados borbónicos se pasan en masa al ejército del héroe y la corriente humana entra triunfalmente en la ciudad de Nápoles.

Pero Francisco II, el rey Borbón de Nápoles, aún no se declara vencido. La batalla decisiva se da el 2 de octubre en el Volturno. Los realistas están a punto de conseguir la victoria, pero el genio, valor y figura de Garibaldi, siempre luchando junto a sus hombres, se impone de nuevo y aquéllos terminan derrotados. Nápoles y Sicilia quedan en libertad.

Austria-Hungría, hasta entonces primera potencia continental de Europa, se debilita con estas derrotas, mientras, a la sombra de los acontecimientos, Prusia se fortalece.

En Prusia está Heidelberg. Y en Heidelberg una excelente escuela de química, a la que acuden los mejores especialistas de Europa a tomar cursos o a dar conferencias. Uno de ellos es August Kekulé, de cuya iniciativa se beneficiarán todos los demás.

### La torre de Babel de los químicos

Friedrich August Kekulé von Stradonitz se había propuesto ser arquitecto, pero como en tantos casos conocidos, la influencia de un maestro lo hizo cambiar de planes. En este caso el maestro fue el excelente químico, también alemán, Justus von Liebig, iniciador entre otras cosas de la química agrícola.

Kekulé, ya químico, viajó por toda Europa, deteniéndose en Francia e Inglaterra, para perfeccionar sus conocimientos. Después de conocer, y darse a conocer, a muchos químicos, regresó a Heidelberg, donde dio conferencias e instaló un laboratorio de química.

En la década de 1850 la búsqueda de principios unificadores del conocimiento era intensa, y entre los temas de estudio planteados estaba el de la *estructura* de las sustancias, término propuesto por primera vez por el químico ruso Alexander Mijailovich Butlerov, quien fuera posteriormente gran amigo de Mendeléiev.

Varios químicos, entre ellos Cannizzaro, se acercaban a este concepto. El inglés Edward Frankland, quien era alumno de Bunsen, inició un estudio que resultaría fecundo, el de los compuestos organometálicos, producto de la asociación de sustancias orgánicas con metales, y en 1852 estableció algo muy importante: el átomo de un elemento se podía combinar con un número fijo de átomos de otro ele-

mento para originar las partículas fundamentales, átomos compuestos, de las sustancias resultantes.

Esta idea implicaba la posibilidad de medir esa capacidad de combinación y asignarle un valor, lo que encerraba el moderno concepto de *valencia*, pero, además, implicaba también el problema de desarrollar un modelo de la *estructura* del producto de la combinación.

Kekulé, siempre interesado en la arquitectura, imaginó modelos gráficos de esas estructuras y fue desarrollando su teoría estructural. En 1858 fue nombrado profesor de la Universidad de Gante, Bélgica, y presentó su teoría de la arquitectura de los compuestos, fundamentándola en los compuestos de carbono. En ella propuso que cada átomo de este elemento podía unirse con cuatro de otros, principio fundamental conocido como de la *tetravalencia* del átomo de carbono, punto de partida de la moderna química orgánica.

Archibald Scott Couper, quien trabajaba en la Universidad de Edimburgo, coincidió con Kekulé y propuso, a su vez, representar *cada unión del átomo de carbono con una línea recta*.

*Las moléculas estaban a la vista* y sin embargo *nadie parecía verlas*; este nombre, *molécula*, aún no se incorporaba a la mentalidad de los químicos.

Por el contrario, las críticas contra la teoría estructural abundaban casi tanto como las opiniones favorables. Kolbe, por ejemplo, aun cuando había sido un renovador al demostrar, con su síntesis del ácido acético, que no se requería la presencia de seres vivos para poder obtener sustancias orgánicas, se constituyó en feroz crítico de la teoría de Kekulé.

Se dudaba de la existencia de los átomos, se dudaba de la organización estructural de las sustancias y, por si fuera poco, los químicos franceses, siguiendo a Auguste Laurent, opinaban que los compuestos orgánicos estaban constituidos por *grupos*, en los que se podía sustituir un átomo por otro, independientemente de que presentaran cargas

eléctricas iguales o diferentes, mientras los suecos, comandados por Berzelius hasta 1848, insistían en que esos compuestos estaban formados por agrupaciones a las que llamó *radicales*, en las que unos átomos tenían carga eléctrica positiva (+) y otros negativa (-), por lo que sólo era posible la sustitución de átomos por otros *de la misma carga* eléctrica.

Para entender hasta qué grado reinaba la falta de concordancia en las opiniones de los químicos, basta saber que al final de la década de 1850 circulaban por Europa *19 fórmulas diferentes del ácido acético*.

Demasiadas opiniones diversas, fomentadas en parte por los sentimientos nacionalistas alimentados por las continuas guerras, enfrentaban a los químicos y científicos europeos; por allá los franceses, por acá los alemanes, más al norte los suecos y, en su isla, los ingleses.

Era el caos; la comunidad de los químicos estaba rota; aquello recordaba la torre de Babel.

### **El Congreso de Karlsruhe, crisol de ideas**

Por fortuna nunca faltan las personalidades generosas, identificadas con ideales que permiten rebasar las barreras del egoísmo enfermizo.

Fue Kekulé quien, convencido de la posibilidad de resolver los problemas humanos a través del diálogo, tuvo la idea de reunir a todos sus colegas interesados en entenderse mutuamente, para discutir los problemas que los tenían divididos y enfrentados. Eligió como lugar de reunión el pequeño Gran Ducado de Baden, de la Confederación Germánica, y en él la ciudad de Karlsruhe, situada frente a Francia, al otro lado del Rin. Convocó a un Congreso Internacional de Química, el principio de una serie de congresos semejantes que hasta el presente siguen realizando no sólo los químicos, sino también los científicos de las más diversas especialidades.

Acudieron de todas partes; entre los 140 asistentes se encontraban Wöhler, Liebig, Kolbe, Bunsen, Butlerov, Frankland, Cannizzaro, Borodin y Mendeléiev.

Borodin, el químico-músico, nacido en San Petersburgo, había estudiado medicina y química en la Academia Médico-Quirúrgica de su ciudad natal de 1856, alcanzando la "Magistratura" en 1858 con una tesis sobre la analogía entre los ácidos arsénico y fosfórico, para distinguirse más adelante por sus investigaciones sobre los aldehídos. A Karlsruhe van los dos y allí Mendeléiev, admirador de Garibaldi, conocerá a otro químico que lo admira tanto como él. Es un siciliano: Stanislao Cannizzaro. Los asistentes al congreso que llegaron atraídos por el prestigio y el atractivo personal de Kekulé, pensando que él iba a ser el centro de interés del mismo, se encontraron con un cambio de protagonista; quien acaparó su atención fue Cannizzaro.

El químico italiano llegó con la intención de aprovechar la ocasión que se le ofrecía para convencer a todos sus colegas de la existencia de las moléculas y, de paso, reivindicar la memoria de su compatriota Amadeo Avogadro.

Durante la conferencia magistral insistió en la cuidadosa diferencia que debería hacerse entre átomos y moléculas, y después distribuyó entre los oyentes copias de un escrito en el que abundaba sobre la materia, dando todo el crédito a aquel ignorado genio que medio siglo antes había aclarado el problema.

Al oírlo, y al leer el material escrito, las dudas de muchos de los presentes empezaron a aclararse. Dejaron Karlsruhe para dirigirse a sus laboratorios y ponerse a trabajar a fin de verificar la hipótesis de Avogadro y apoyarse en ella para corregir sus propios puntos de vista. La medida de los pesos atómicos se unificó; las diferentes medidas de pesos moleculares, así considerados ahora, fueron concordantes; la teoría atómica se reforzó; Kekulé avanzó en la determinación de sus estructuras moleculares; se sustentó el concepto de valencia y surgió la posibilidad de basarse



El Congreso de Karlsruhe fue el primer gran encuentro científico de la química; quedaban atrás, para siempre, las fantasías de la alquimia.

en los pesos atómicos, ahora bien determinados, para explicar la conducta de los elementos durante sus combinaciones químicas.

Por todo eso, el Congreso de Karlsruhe marca un momento especialmente importante en la historia.

Mendeléiev regresó a Heidelberg y luego a San Petersburgo, francamente inspirado por la presentación de Cannizzaro. Lo que aprendió en Karlsruhe determinó en gran parte su propia aportación, llamada, a su vez, a revolucionar la química.

### **Mendeléiev, el hombre**

En noviembre de 1860 Mendeléiev se encontraba a orillas del lago Maggiore despidiéndose de unas vacaciones pasadas en Italia, después del congreso de Karlsruhe, rumbo a Heidelberg.

Sabemos esto por una carta, fechada precisamente ese mes, que nuestro personaje escribió a Feozva Nikítichna, antigua amiga de la infancia, con la que se casaría posteriormente. En ella se aprecian las ideas del químico ruso, su sensibilidad, su admiración por Garibaldi y su compromiso político y humano.

“Le escribo, Feozva Nikítichna, despidiéndome de Italia, dejando el calor y dirigiéndome hacia Heidelberg. La última despedida de Italia la hago a orillas del lago Maggiore donde espero el transbordador y la diligencia que me conducirá por el San Gotardo. Me resulta doloroso hasta las lágrimas dejar este país, aun cuando sólo estuve en él 40 días.

”Por casualidad me encontré con un amigo y en su compañía viajé de Heidelberg a Florencia, de paso hacia Génova.

”Cuando salimos de Heidelberg hacía frío, se anunciaba el invierno y noté que aquí en Génova hacía calor.

”Su golfo es hermoso, el aire cálido y la gente fasci-

nante. Decidimos avanzar hacia el interior tanto como nos fuera posible, a fin de aspirar profundamente el aire de este país cuya historia, arte y naturaleza nos atraen tanto. Todo lo de aquí es original, superior; algo que los ciudadanos de otros pueblos no hemos hecho más que tratar de imitar sin conseguirlo, porque —¡ay!— en ninguna otra parte se reúnen condiciones tan favorables y milagrosas como en este país de los romanos.

''¿En qué lugar de Europa, salvo quizá en Grecia, se encuentra un mar como éste y montañas como las que hay aquí, un clima semejante, una cultura tan antigua, una comprensión tan clara de la libertad, esta delicadeza en el trato que tienen sus habitantes, excluyendo por supuesto a los sacerdotes y a los austriacos, a quienes pronto se dará su merecido, y una música como la que aquí transmite el ambiente mismo?

''Los que no lo crean que esperen un poco; denle a los italianos la oportunidad de sacudirse el yugo de esos sacerdotes aniquiladores de todo lo vivo; de sacudirse también a los austriacos y Borbones; esperen a que desaparezcan estas lacras ocasionadas por la larga influencia del oscurantismo papal, de la inquisición y de las persecuciones policiacas y entonces llegarán a ver una Italia unida. Ahora Italia calla.

''¿Dónde hubo alguna vez un hombre como Garibaldi? Él lo ha hecho todo por Italia; golpeó a los austriacos, liberó Sicilia empezando la aventura con sólo mil hombres, obligó a huir al Borbón de la vecina Nápoles, en la que finalmente entró victorioso, ya con 60 mil hombres compañeros de lucha.

''Es un hombre que hechiza a todos, obligándolos a dejar aparte sus intereses particulares para dar paso a los intereses comunes; su elocuencia es fácil y sin embargo se trata de un simple marinero transformado en general, no porque alguien haya decidido otorgarle el grado, sino porque, siendo naturalmente capaz del mando, se gana la admiración de todos quienes se le acercan.

''Es una persona en la que la gente sencilla confía como en un dios, a la que todos respetan y conocen, una persona en la que Italia puede depositar su esperanza. No cree en el dinero, viste con sencillez, usa zamarra cazadora y viaja en velero. ¿Dónde encontrar persona semejante?

''¡Feliz el país que pueda contar con un hombre como Garibaldi!''

Se trata de un autorretrato moral en el que vemos a una persona amante de la luz, del sol, de la historia, del arte y la cultura. Pero también a un amante de la libertad, y sabemos que quien ama la libertad, la concibe como un bien universal, de todos los hombres, y en consecuencia, irremediabilmente, se hace solidario, sufre y goza con ellos.

Ya en este momento, a los 26 años, Mendeléiev se muestra en toda su madurez, dueño de un carácter y unos valores que mantendrá toda su vida y que le servirán de soporte cuando, a su vez, sea víctima de la agresión del despotismo y autoritarismo del gobierno del zar.

En 1861, encargado de la cátedra de química orgánica en la Universidad de San Petersburgo, el mismo año en que Pasteur inicia en Francia su cruzada personal para terminar con el mito de la generación espontánea,\* Mendeléiev inicia la redacción de un texto para esa asignatura.

Llega 1865 y por fin, ya casado con Feozva, recibe el nombramiento de profesor titular de química en la universidad.

Desde el Congreso de Karlsruhe en Mendeléiev maduraba una sospecha: ¿dependían las propiedades de los elementos de sus pesos atómicos? Nadie había planteado esta pregunta pero muchas observaciones parecían sugerirlo.

Mendeléiev pudo responderla y, al hacerlo, su descubrimiento dio fundamento no sólo a la química de su tiempo, sino a la del futuro.

\* Véase en esta misma colección, *El vencedor del mundo invisible. Louis Pasteur.*

## Europa en los años anteriores al descubrimiento de Mendeléiev

Europa se agita en torno a Mendeléiev.

En 1866 Prusia, hasta entonces subordinada de Austria en la Confederación Germánica, decide que ha llegado el momento de alcanzar la hegemonía en la misma, y se desata la guerra entre las dos naciones.

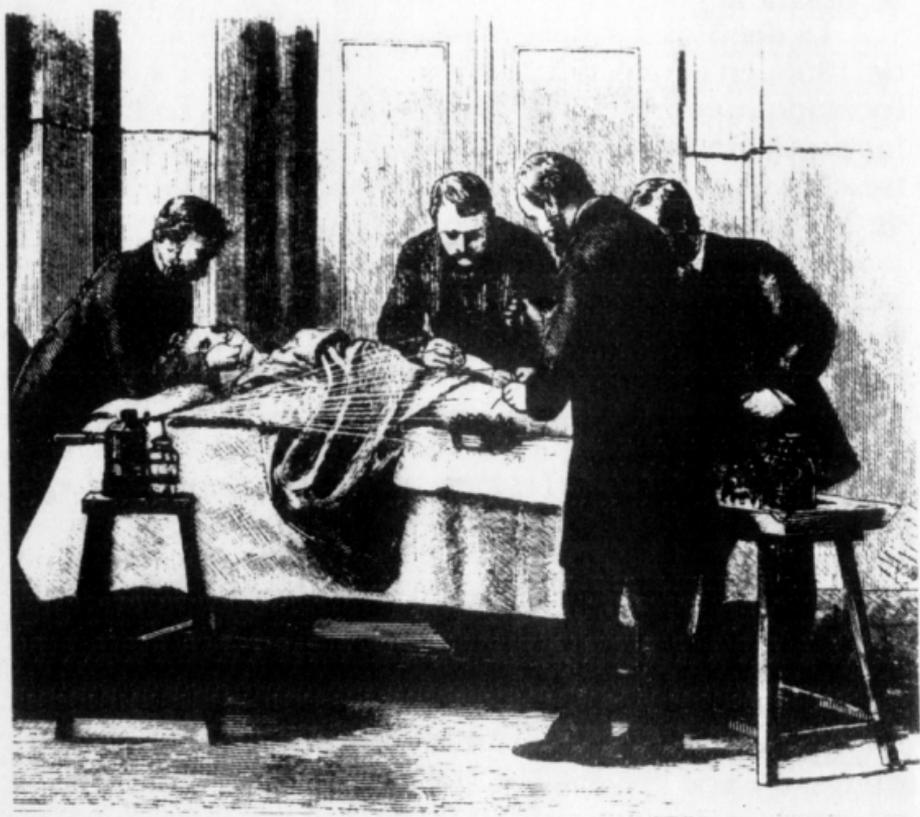
La decisiva y sangrienta batalla de Sadowa, 3 de julio de 1866, en la que los prusianos derrotan a los austriacos, forzando su retirada, da la hegemonía a Prusia. En su avance los prusianos fueron ocupando las plazas abandonadas, entre ellas Brünn, ahora llamada Brno, situada en la región de Bohemia, dentro de lo que hoy es Checoslovaquia.

Allá en Brno un monje, que en el interior de su convento venía haciendo importantísimos estudios de polinización con semillas de guisantes, decidió publicar sus descubrimientos, pese a la presencia de las tropas prusianas de ocupación.\*

Así se dieron a conocer a la opinión pública las leyes de Mendel, punto de referencia obligado en los estudios de genética modernos, pero desconocidos e ignorados hasta 1900, año en que Hugo De Vries descubrió los escritos del monje, con lo que el abad investigador, descubierto póstumamente, pasó de la sombra a la luz de la historia.

Mendeléiev se encontraba dedicado a su labor docente, en la Universidad de San Petersburgo, cuando en 1867 el cirujano inglés Joseph Lister, que desde 1865 se había interesado por los estudios de Pasteur que establecían la existencia y acción infecciosa de los microorganismos, anunció a sus colegas y a los científicos sus excelentes resultados en la eliminación de gérmenes en las heridas, debido al uso de ácido fénico. Habían llegado la asepsia y la antisepsia, gracias a Lister, iniciando una revolución en el campo de la medicina.

\* Véase, en esta misma colección, *El olvidado monje del buerto. Gregor Mendel*.



Uno de los notables avances de la época de Mendeléiev fue la antisepsia, debida a la obra de John Lister.

Otro acontecimiento de trascendencia histórica se presentó ese mismo año: Karl Marx publicó el primer tomo de su monumental obra, *El capital*.

Mendeléiev había encontrado, en la enseñanza, un campo tan estimulante y creativo como el de la investigación. Su fuerte personalidad, sus ideas, su compromiso social, su sensibilidad, todas sus cualidades, lo hacían un maestro al que los estudiantes sentían cerca, admiraban y valoraban.

Se puso a escribir un libro de texto, *Fundamentos de química*, para ayudar a los estudiantes rusos, que no lo tenían en su idioma, pensando en ellos, en su manera de ser y sus necesidades académicas.

Pero Mendeléiev no era el único que había encontrado correlación entre pesos atómicos y propiedades de los elementos. Dos químicos, uno inglés y otro alemán, cada uno por su cuenta, estaban a punto de adelantársele sin que lo sospechara.

### **La ley periódica asoma la nariz**

John Alexander Reina Newlands era inglés, químico y, por añadidura, gran aficionado a la música.

En 1868, un poco jugando, tuvo la idea de acomodar los elementos en orden creciente por su peso atómico. Al observar el cuadro así formado pudo apreciar que, al igual que en la escala musical, en la que después de las siete notas se repite la primera en un tono más alto, completando así una *octava*, se presentaban series en las que después de cada siete elementos surgía otro de propiedades químicas parecidas al primero, originándose *octavas* de los mismos.

Cambió la disposición de los elementos, colocando ahora en columna lo que antes tenía acomodado en renglones, y se encontró con nuevas columnas y renglones.

Volvió a observar. Se apreciaba que en los nuevos renglones habían quedado, con mucha frecuencia, elementos

de propiedades semejantes: al lado del flúor quedaba el cloro y más adelante, en la línea horizontal o renglón, aparecían también el bromo y el yodo; al lado del litio quedó el sodio y más a la derecha aparecían el potasio, rubidio y cesio; al magnesio le seguía el calcio y más adelante se encontraban el estroncio y el bario.

Esto ocurría con otros grupos de elementos de propiedades químicas semejantes: fósforo, arsénico y antimonio por un lado; azufre, selenio y telurio por otro.

Las tríadas de Döbereiner aparecían claramente relacionadas, confirmándose la relación entre los pesos atómicos y las propiedades químicas.

Newlands, entusiasmado ante lo que le parecía un descubrimiento significativo, llamó *octavas* a las columnas así organizadas y "ley de las octavas" a la norma o regularidad que parecía encontrarse en su distribución.

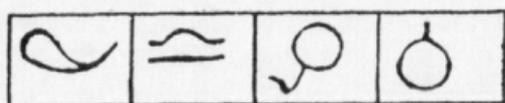
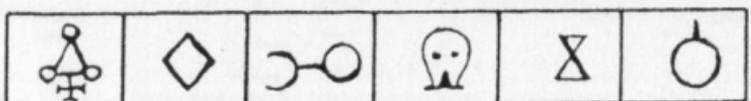
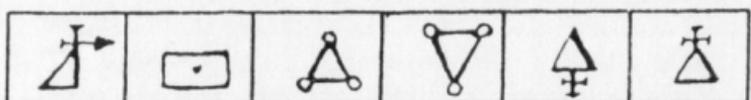
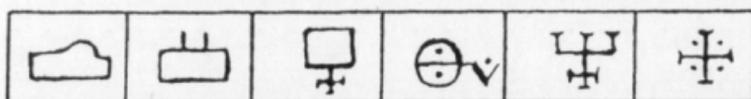
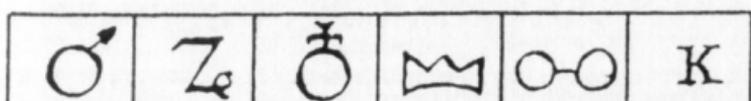
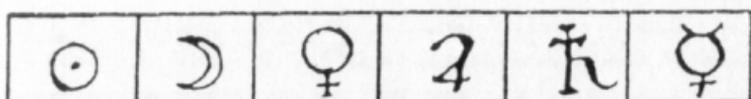
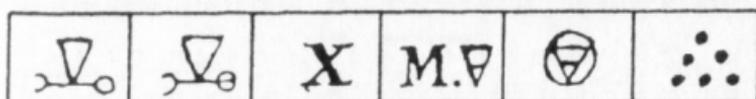
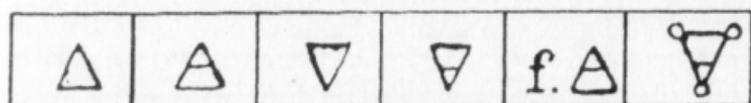
Sin embargo, no todo era *regularidad* en el cuadro así formado. Los elementos de propiedades afines no aparecían solos en las líneas horizontales; entre ellos surgían otros, *de propiedades muy diferentes*.

Esta falta de concordancia llevó a los químicos que se habían interesado en el trabajo de Newlands a creer que se trataba de una simple coincidencia matemática, curiosa ciertamente, pero que no reflejaba ningún hecho profundo y real, y terminaron despreciando la "ley de las octavas".

Decepcionado por ese rechazo generalizado, el investigador inglés ni se molestó en publicar su trabajo. No obstante, sin saberlo, era quien hasta el momento había estado más cerca del descubrimiento de la ley periódica.

El químico alemán Julius Lothar Meyer tenía 40 años cuando comunicó al medio científico su descubrimiento de la ley periódica de los elementos.

Condiscípulo de Mendeléiev en Heidelberg, asistió también al Congreso de Karlsruhe, y quedó igualmente inspirado por la presentación de Cannizzaro. Meyer encontró una correlación distinta a la que había creído encontrar Newlands.



Ya los alquimistas habían intentado disponer en orden los elementos que conocían, y en los que mezclaban mitos y realidades.

En primer lugar, se concentró en la determinación de los volúmenes atómicos de los elementos. Por supuesto nadie podía medir entonces el volumen atómico *real* de éstos, ni Meyer hizo tal cosa. Lo que hizo, en cambio, fue pesar cantidades en gramos numéricamente iguales al peso atómico de cada elemento; por ejemplo, 1 gramo de hidrógeno, 16 de oxígeno, 14 de nitrógeno, etcétera, y después medir el volumen que ocupaban esas cantidades a la misma presión y temperatura; pensó que la diferencia que se apreciara tenía que ser *un reflejo de la diferencia real de volumen* entre los átomos de un elemento y otro.

Hechos los cálculos tuvo una idea: elaborar una gráfica colocando en el eje de las *ordenadas* (el vertical) los volúmenes, y en el de las *abscisas* (el horizontal) los pesos atómicos.

Así obtuvo una serie de puntos que fue uniendo por una línea continua. Una vez terminada, observó la gráfica y, con sorpresa y emoción, descubrió que los *elementos de propiedades semejantes ocupaban también posiciones semejantes*.

Un hecho llamó posteriormente su atención: la gráfica se parecía mucho a las obtenidas al tratar de representar un movimiento ondulatorio. También aquí aparecían crestas y valles, zonas de máxima y mínima amplitud, y también aquí se podía apreciar el equivalente a una frecuencia y *un periodo*.

Recordemos juntos, amigo lector, que se llama *periodo* de un movimiento ondulatorio al tiempo que transcurre durante la emisión de una onda o vibración completa. A lo largo de un periodo una onda avanza *cierta distancia* que recibe el nombre de *longitud de onda*, mientras se produce la siguiente onda completa.

La longitud de onda la medimos como *la distancia entre dos puntos equivalentes de dos ondas consecutivas*, y en una gráfica donde la representemos quedará implicada la idea de que eso ocurre durante el tiempo de un periodo.

Si comparamos la gráfica de un movimiento ondula-

torio con la de los volúmenes atómicos de Meyer, además de percibir las semejanzas indicadas, entenderemos por qué podemos llamarla *gráfica periódica*.

Y así comprenderemos por qué cuando Mendeléiev, en vez de una gráfica usó una *tabla*, la llamó *tabla periódica de los elementos*.

Un fenómeno es *periódico* cuando reaparece a *intervalos definidos* de tiempo o de espacio

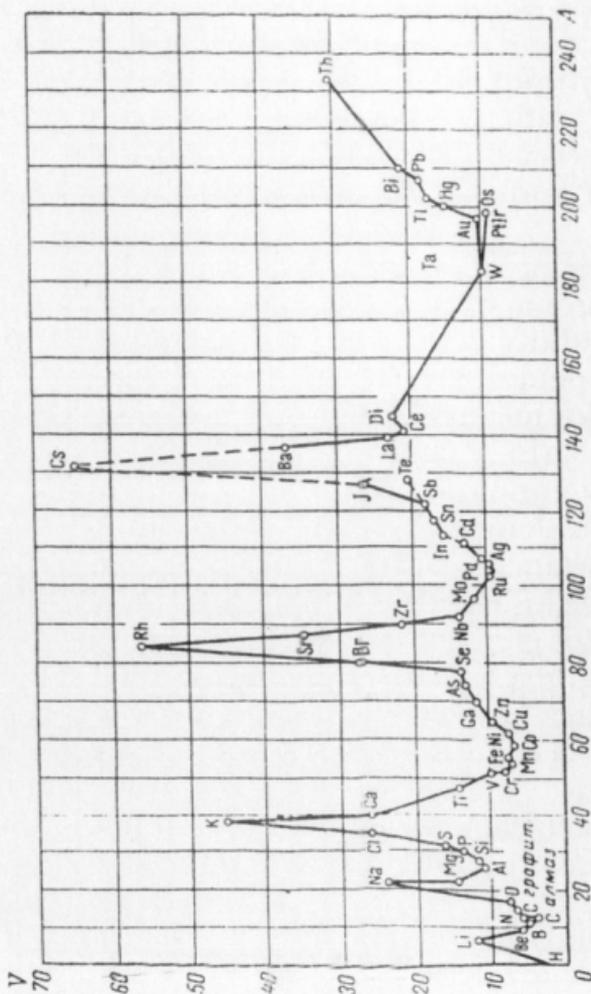
En la gráfica de Meyer las propiedades químicas semejantes aparecían después de intervalos que, sin ser todos iguales, sí podían agruparse, por su extensión, en cortos y largos.

Por ejemplo, observa, lector, la colocación de los volúmenes atómicos de los metales alcalinos: litio, sodio, potasio, rubidio y cesio. Sus posiciones *son semejantes*. Lo mismo podemos advertir en el caso de los volúmenes atómicos de los metales alcalino-térreos: magnesio, calcio, estroncio y bario, y también en el de los metales: aluminio, arsénico y antimonio, etcétera.

Indudablemente, Meyer descubrió un fenómeno de gran importancia: el carácter periódico de las propiedades químicas de los elementos. Y alcanzó un poder: el de agrupar *todos* los elementos conocidos en forma ordenada, regulada por una ley, la *ley periódica*. El caos que reinaba en la química quedaba sujeto a un orden y a la posibilidad de integrar el conocimiento sobre los elementos en una simple gráfica.

Desgraciadamente para Meyer, su descubrimiento no le pertenecía ni en exclusividad ni en prioridad. Al dárselo a conocer, en 1870, vino a saber que otro químico se le había adelantado comunicando a sus colegas el descubrimiento de la ley periódica en 1869: el ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev.

En realidad, como el mismo Meyer reconoció más tarde, no sólo se le había adelantado, sino que había ido mucho más lejos al diseñar, no una gráfica, sino una tabla que permitió *asomarse a descubrimientos del futuro y prede-*



Gráfica de Meyer.

*cirlos con exactitud*, como ningún científico antes que él lo había hecho.

Sí, Mendeléiev fue el químico de las profecías.

## Los sueños creativos del químico de las profecías

En 1869, en ese país atrasado que era Rusia, Mendeléiev presentó su *clasificación periódica de los elementos*. Todas las observaciones implícitas en la gráfica de Meyer se encontraban en la tabla periódica del químico ruso, pero ésta permitía lo que no era posible en aquélla: *predecir la existencia de lo que aún se desconocía*, la de elementos químicos no descubiertos todavía.

¿Cómo llegó a este descubrimiento?

El antecedente más próximo lo encontramos en el impacto que le produjo la presentación de Cannizzaro en Karlsruhe. Allí Mendeléiev, como otros asistentes, encontró la clave para la determinación correcta del peso atómico de los elementos. Con esa nueva habilidad, Mendeléiev determinó los pesos atómicos relativos con exactitud, familiarizándose con las propiedades de los elementos.

Cuando empezó su trabajo de maestro en la Universidad de San Petersburgo se planteó varias preguntas fundamentales. Tenía que enseñar química; ¿cómo hacerlo de la manera más clara, lógica y comprensible? No quería limitarse a una transmisión de información acumulada, sin orden ni concierto. Pero ¿no era precisamente eso la química en aquel momento? ¿Cómo evitar que la clase se hiciera rutinaria al ir hablando de todos y cada uno de los elementos, de sus propiedades y aplicaciones? ¿Cómo explicar, fundamentándola, la semejanza entre algunos elementos, como por ejemplo litio, sodio y potasio?

Mendeléiev, preocupado por dar un sentido profundo a su clase, buscó principios generales, unificadores e integradores del conocimiento de la química. Allí estaba la ley de la gravitación universal, estaban los pesos atómicos

relativos. . . ¿Podría encontrarse en ellos la causa de la conducta química de los elementos?

Por lo pronto empezó a escribir el símbolo de cada elemento en grandes tarjetas, usando una para cada símbolo, y a llevarlas a sus clases para que los estudiantes se familiarizaran con ellos. En cada tarjeta, al lado del símbolo, colocó el valor del peso atómico del elemento y algunas de sus propiedades.

Por las noches se desvelaba haciendo sus tarjetas, dándoles vuelta entre las manos, observándolas. Y una noche empezó a *jugar* con ellas un extraordinario juego de solitario.

¿Conoces alguna de las variedades de solitario que se juega con la baraja, amigo lector? A medida que se van sacando cartas, se colocan en *orden creciente*, del as al rey.

Mendeléiev inició un juego de "solitario químico", con sus tarjetas, colocándolas sobre la mesa *en orden creciente de sus pesos atómicos*, empezando por el más ligero, el hidrógeno.

Y un día, observando el resultado, se sintió repentinamente interesado por lo que aparecía a la vista. ¿Qué ocurría? Algo muy importante: *se percibía claramente la repetición periódica de las propiedades semejantes de ciertos elementos, surgiendo a consecuencia del orden dispuesto de los pesos atómicos*.

Durante varios días repitió el juego, tratando incluso de retener en la mente los datos que contenían. ¿Qué expresaban? A veces lo sorprendía el sueño. La noche del 16 de febrero de 1869 la pasó jugando hasta que, agotado, se dejó caer sobre un diván casi al amanecer.

Mendeléiev soñó, y soñando, soñando, tuvo una visión. Al despertar la recordaba perfectamente, se levantó de un salto y lleno de excitación buscó un papel, "¡cualquier papel!, pero un papel, ¡por favor!". Tomó el primero que encontró, una carta tirada en el piso de su despacho, que ese mismo día le había llevado A. I. Khodnev invitándolo a presentarse en Tverskii.

|    |                    |                    |                     |                      |                      |                       |                   |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                   |                    |  |  |  |  |
|----|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--|--|--|--|
| IA | 1<br>H<br>1.008    | IIA                | 2<br>He<br>4.003    |                      |                      |                       |                   |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                   |                    |  |  |  |  |
|    | 3<br>Li<br>6.941   | 4<br>Be<br>9.012   |                     | 5<br>B<br>10.81      | 6<br>C<br>12.011     | 7<br>N<br>14.007      | 8<br>O<br>15.9994 | 9<br>F<br>18.998   | 10<br>Ne<br>20.18  |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                   |                    |  |  |  |  |
|    | 11<br>Na<br>22.990 | 12<br>Mg<br>24.31  |                     | 13<br>Al<br>26.98    | 14<br>Si<br>28.09    | 15<br>P<br>30.97      | 16<br>S<br>32.06  | 17<br>Cl<br>35.453 | 18<br>Ar<br>39.95  |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                   |                    |  |  |  |  |
|    | 19<br>K<br>39.10   | 20<br>Ca<br>40.08  | 21<br>Sc<br>44.96   | 22<br>Ti<br>47.90    | 23<br>V<br>50.94     | 24<br>Cr<br>52.00     | 25<br>Mn<br>54.94 | 26<br>Fe<br>55.85  | 27<br>Co<br>58.93  | 28<br>Ni<br>58.71  | 29<br>Cu<br>63.55  | 30<br>Zn<br>65.37  | 31<br>Ga<br>69.72  | 32<br>Ge<br>72.59  | 33<br>As<br>74.92  | 34<br>Se<br>78.96  | 35<br>Br<br>79.90 | 36<br>Kr<br>83.80  |  |  |  |  |
|    | 37<br>Rb<br>85.47  | 38<br>Sr<br>87.62  | 39<br>Y<br>88.91    | 40<br>Zr<br>91.22    | 41<br>Nb<br>92.91    | 42<br>Mo<br>95.94     | 43<br>Tc<br>98.91 | 44<br>Ru<br>101.07 | 45<br>Rh<br>102.91 | 46<br>Pd<br>106.4  | 47<br>Ag<br>107.87 | 48<br>Cd<br>112.40 | 49<br>In<br>114.82 | 50<br>Sn<br>118.69 | 51<br>Sb<br>121.75 | 52<br>Te<br>127.60 | 53<br>I<br>126.90 | 54<br>Xe<br>131.30 |  |  |  |  |
|    | 55<br>Cs<br>132.91 | 56<br>Ba<br>137.34 | 57*<br>La<br>138.91 | 72<br>Hf<br>178.49   | 73<br>Ta<br>180.95   | 74<br>W<br>183.85     | 75<br>Re<br>186.2 | 76<br>Os<br>190.2  | 77<br>Ir<br>192.22 | 78<br>Pt<br>195.09 | 79<br>Au<br>196.97 | 80<br>Hg<br>200.59 | 81<br>Tl<br>204.37 | 82<br>Pb<br>207.2  | 83<br>Bi<br>208.98 | 84<br>Po<br>(210)  | 85<br>At<br>(210) | 86<br>Rn<br>(222)  |  |  |  |  |
|    | 87<br>Fr<br>(223)  | 88<br>Ra<br>226.03 | 89*<br>Ac<br>(227)  | 104<br>(Ku)<br>(261) | 105<br>(Ha)<br>(260) | 106<br>(Uuh)<br>(265) |                   |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                   |                    |  |  |  |  |

|                    |                    |                    |                   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 58<br>Ce<br>140.12 | 59<br>Pr<br>140.91 | 60<br>Nd<br>144.24 | 61<br>Pm<br>(147) | 62<br>Sm<br>150.4 | 63<br>Eu<br>151.96 | 64<br>Gd<br>157.25 | 65<br>Tb<br>158.93 | 66<br>Dy<br>162.50 | 67<br>Ho<br>164.93 | 68<br>Er<br>167.26 | 69<br>Tm<br>168.93 | 70<br>Yb<br>173.04 | 71<br>Lu<br>174.97 |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|

\* Serie lantánida:

|                    |                    |                   |                    |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                    |                    |                    |                    |
|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 90<br>Th<br>232.04 | 91<br>Pa<br>231.04 | 92<br>U<br>238.03 | 93<br>Np<br>237.05 | 94<br>Pu<br>(244) | 95<br>Am<br>(243) | 96<br>Cm<br>(245) | 97<br>Bk<br>(247) | 98<br>Cf<br>(249) | 99<br>Es<br>(249) | 100<br>Fm<br>(255) | 101<br>Md<br>(256) | 102<br>No<br>(254) | 103<br>Lr<br>(257) |
|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|

+ Serie actínida:

Tabla periódica de los elementos. (Los cuadros sombreados corresponden a los elementos descubiertos por Mendeliev.)

Así nació la tabla periódica de los elementos.

¡Y aún hay personas que insultan a otras porque se duermen! ¡Que los soñadores exijan respeto a sus sueños!

El 17 de febrero lo dedicó Mendeléiev a trabajar afinando su tabla y a escribir un artículo que tituló "Ensayo de un sistema de elementos fundamentales en sus pesos atómicos y afinidad química".

Por la tarde envió al tipógrafo la tabla, pasada en limpio, con la fecha anotada e indicaciones para su impresión. Días más tarde, el 20 de febrero, escribió un comunicado científico, donde dio forma a las primeras ideas del estudio de la periodicidad: "Correlación de las propiedades de los elementos con sus pesos atómicos".

Entregó el manuscrito al químico N. A. Menshutkin para que se publicara en la *Revista de la Sociedad Química* y para que lo presentara en la siguiente reunión de esta sociedad y, ese mismo día, recibió y revisó las pruebas de galera de su "Ensayo de un sistema de elementos fundamentado en sus pesos atómicos y afinidad química".

Los primeros ejemplares los tuvo en su poder el 1 de marzo, los envió a sus muchos amigos rusos y extranjeros, y salió a San Petersburgo, de magnífico humor, rumbo a Tverskii, en una visita que se prolongaría hasta el 12 de marzo.

Los miembros de la Sociedad Química Rusa se reunieron en asamblea el 6 de marzo. Menshutkin leyó el ensayo de Mendeléiev ante los asistentes, describiendo la tabla o clasificación periódica, con todo detalle. Al terminar los oyentes se pusieron de pie y, entusiasmados, aclamaron al ausente Mendeléiev.

En el extranjero la tabla periódica se dio a conocer por primera vez en Alemania, al publicarse en el número 4, volumen 106, de la *Revista de Química Práctica*.

## El pelo en la sopa

“Nunca falta el pelo en la sopa”, dice un conocido refrán que ilustra cómo las mejores cosas de este mundo se ven dañadas, aunque sea mínimamente, por un detalle que las afea.

En este caso “el pelo” lo constituyeron algunas personas que pretendieron quitar importancia a Mendeléiev, argumentando que Meyer, de manera independiente y casi simultánea, descubrió también la ley periódica.

Esta opinión es falsa por dos motivos fundamentales, ninguno de los cuales daña la memoria de Meyer. En primer lugar olvidan que, de los dos, fue Mendeléiev quien *dio a conocer* dicha ley, y no Meyer, y en segundo olvidan que el químico ruso no sólo hizo eso sino que, además, le dio un uso extraordinario al apoyarse en su tabla para *predecir* la existencia de elementos desconocidos en su época. Podríamos ir más lejos destacando que la *gráfica* de Meyer no permitía ese ejercicio de la inteligencia, mientras la tabla de Mendeléiev lo hacía a tal grado que en ella se inspiraron los químicos nucleares del siglo XX que buscaron, encontraron, y obtuvieron, en su caso, los elementos artificiales.

¿Qué opinó el mismo Meyer? Años más tarde escribió:

“En 1869, *antes de que yo expresara mis ideas* acerca de la periodicidad de las propiedades de los elementos, apareció el resumen del artículo de Mendeléiev en el que nos dice:

”1) Cuando se coloca a los elementos en orden creciente de su peso atómico se observa un cambio escalonado\* en sus propiedades.

”2) La magnitud de los pesos atómicos determina las propiedades de los elementos.

”3) Los pesos atómicos de algunos elementos exigen rectificación.

\* El artículo de Mendeléiev dice en realidad: “...se observa una variación periódica”.

"4) Se aprecia la falta de algunos elementos aún no descubiertos.

"Todo esto lo publicó Mendeléiev antes que yo publicara mi propio descubrimiento.

"Reconozco abiertamente que no fui lo suficientemente audaz para proponer tan perspicaces predicciones como las que hizo Mendeléiev."

El trabajo de Meyer fue excelente sin lugar a dudas, original y distinto al de Mendeléiev. Pero el de Mendeléiev no sólo fue anterior sino también más profundo y amplio.

Si comparamos los dos trabajos encontramos que Mendeléiev:

Destacó la necesidad de corregir el valor de algunos pesos atómicos, y Meyer no.

Utilizó el sistema periódico como una herramienta con la que se podían correlacionar las propiedades más variadas de los elementos, como son densidad, punto de ebullición y de fusión, las fórmulas de sus óxidos y otros compuestos; su conducta metálica, su forma de cristalización, su reactividad y los volúmenes de sus átomos gramo.\*

Se vio obligado en ocasiones *a dejar vacíos algunos lugares de su tabla* e inmediatamente adivinó que se trataba de huecos *en los que faltaban los elementos correspondientes*.

Y si faltaban sólo podía deberse a *que estaban por descubrirse*.

Así, Mendeléiev se transformó en el químico de las profecías.

## Las profecías de Mendeléiev

El día que se desarrolló la primera tabla, lunes 1 de marzo de 1869, Mendeléiev dejó un hueco debajo del alumi-

\* Atomo gramo: cantidad de gramos de un elemento numéricamente igual a su peso atómico. Es decir, es el peso atómico de un elemento expresado en gramos.

nio, en la columna vertical correspondiente a la familia o grupo del boro, y en él puso un signo de interrogación y un valor de peso atómico: 68.

Entre el 2 y el 13 de marzo escribió un artículo describiendo la tabla periódica. En él se leía: “. . . se debe esperar *en el futuro* el descubrimiento de cuerpos simples desconocidos, como por ejemplo los parecidos al aluminio y al silicio, cuyos pesos atómicos serán de 65 y 75 respectivamente”.

Más adelante, en el mes de diciembre de ese mismo año, terminó su artículo “Sistema natural de los elementos y su aplicación a la *asignación de propiedades de elementos aún no descubiertos*”.

Después de ajustar sus cálculos predijo:

“En el grupo III nos hace falta, en el tercer renglón, un elemento que siga al cinc y que debe tener un peso atómico cercano a 68. Lo llamaremos eka-aluminio, porque queda situado abajo del aluminio. A diferencia del eka-boro, el eka-aluminio debe ser capaz de formar compuestos organometálicos y dado que se sitúa abajo del aluminio y arriba del indio, tendrá propiedades parecidas a estos elementos, entre otras las de formar compuestos semejantes a los alumbres. Su óxido será soluble en disolución acuosa de potasa y sus sales serán más estables que las del aluminio\*. . . su peso específico en estado sólido será de 6 aproximadamente. . . es muy posible que este metal sea más volátil que el aluminio, por lo que cabe esperar que será objeto de investigaciones espectrales, al igual que el indio y el talio, aun cuando *por supuesto* será menos volátil que estos dos elementos.”

De la misma manera, segura y precisa, Mendeléiev describió las propiedades de los desconocidos eka-boro, eka-silicio, eka-manganeso y eka-tantalio, dbi-telurio, dbi-lantano, dbi-bario, dbi-cesio y dbi-yodo.

\* El eka-aluminio, más activo que el aluminio, reacciona más fácilmente para formar una sal, lo que equivale a decir que será más difícil separarlo de la sal formada o, lo que es lo mismo, que su sal será más estable.

En 1875 P. E. Lecoq de Boisbaudran escribió un comunicado donde informaba del descubrimiento de un nuevo cuerpo simple al que, como buen francés, decidió llamar *galio*. Al determinar sus propiedades, metal de peso atómico 68, peso específico 6, semejante al aluminio y al indio, se notó que correspondían a las predichas por Mendeléiev para el eka-aluminio.

Poco a poco, todas las predicciones se fueron cumpliendo.

En 1879 Lars Fredrik Nilson, sueco, descubrió un elemento al que llamó *escandio*, como buen escandinavo. Sus propiedades eran las descritas por el químico ruso para el eka-boro.

En 1885 tocó el turno a Clemens Alexander Winkler, quien descubrió un elemento al que, como buen alemán, llamó *germanio*.

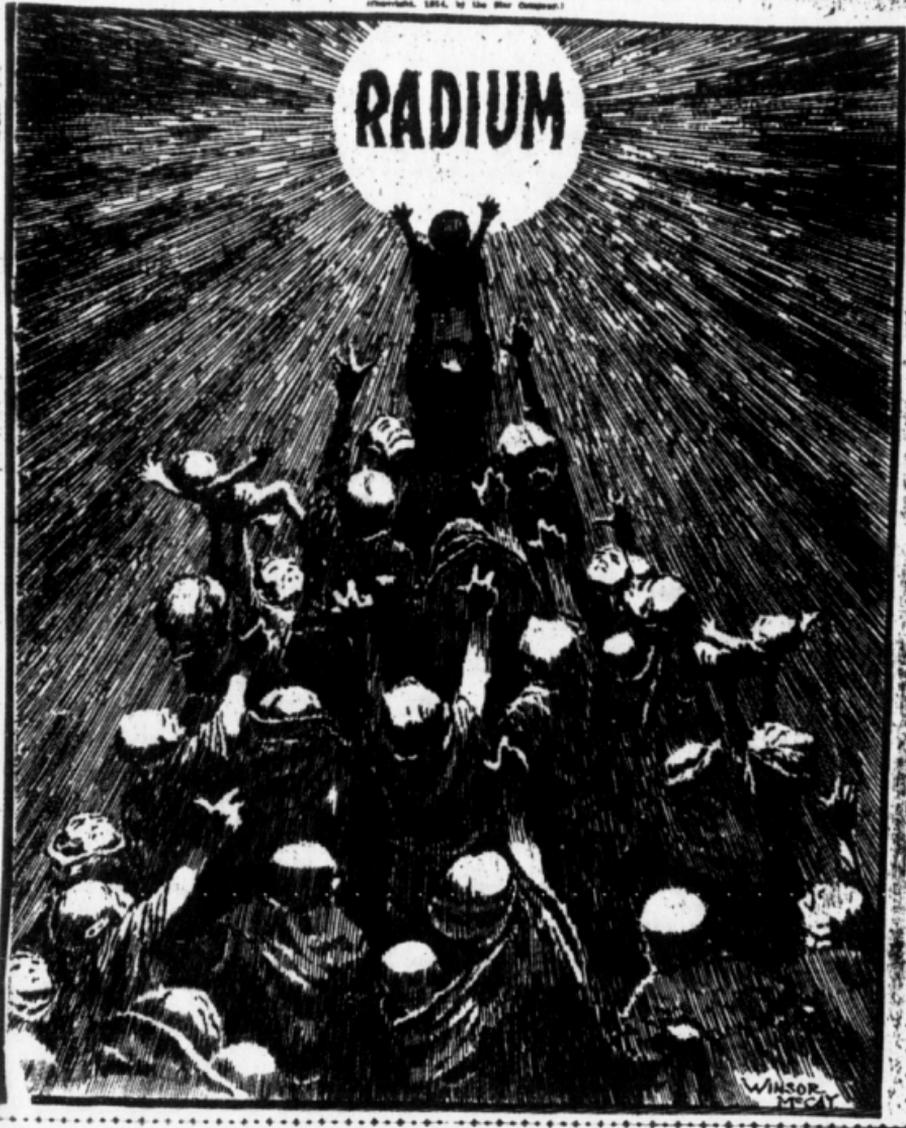
¿Te sorprendería mucho, amigo lector, saber que sus propiedades, predichas por Mendeléiev, correspondían al eka-silicio?

Otros descubrimientos posteriores fueron los que siguen.

El *polonio* y el *radio*, descubiertos por los esposos Curie en 1898, cuyas propiedades correspondían a los anunciados dbi-telurio y dbi-bario; el *actinio*, descubierta en 1899 por André Louis Debierne, llamado dbi-lantano por Mendeléiev; el *tecnecio* y el *francio*, descubiertos en 1937 a consecuencia del uso de los aceleradores de partículas, en Italia y Francia respectivamente y que ocuparon los lugares del eka-manganeso y del dbi-cesio; el *astato* (1940) obtenido artificialmente, correspondiente al dbi-yodo, que es un metal típico aunque pertenece a la familia de los halógenos, elemento radiactivo cuyos primeros estudios se hicieron en disoluciones de bajísima concentración, de *2 cienmillonésimas de gramo de sustancia disuelta por litro de disolución* y que es *el elemento más raro y escaso de la tierra*, hasta el extremo de calcularse que la corteza terrestre contiene apenas *69 miligramos* en todo su espesor.

HOPE!

Copyright, 1914, by the Star Company



El radio, descubierto por Marie y Pierre Curie, pronto fue considerado un elemento "milagroso"

La clasificación periódica de los elementos proporcionó ese principio unificador, ese principio de orden que tanto necesitaban los químicos en el estudio de las sustancias, a la par que daba esa seguridad de saber que algunos elementos existen o pueden existir aun cuando todavía no se conozcan.

Aceptada unánime e internacionalmente, proporcionó a Mendeléiev el reconocimiento de todos sus colegas, a los maestros de química una herramienta valiosa en la enseñanza de su asignatura y a los estudiantes de todas las generaciones que le siguieron una síntesis de las propiedades de los elementos.

Hasta 1890 nuestro químico de las profecías siguió afinando y perfeccionando la tabla periódica en la Universidad de San Petersburgo.

Ese año, los estudiantes de la universidad organizaron diferentes actos de protesta contra las autoridades de instrucción pública, obligando a sus maestros a definir sus posiciones políticas. Mendeléiev estaba de su lado y lo manifestó públicamente. Considerando que su gesto era un mal ejemplo, las autoridades presionaron para destituirlo de su cátedra y se vio obligado a abandonar la universidad, quedando sin trabajo.

Pero los problemas de Rusia eran muy complejos y no se podían resolver por mandato oficial. Mientras Mendeléiev se hallaba desocupado, en 1891 se desató otra hambruna en el país, una catástrofe más.

Se dejó oír la opinión de los químicos del extranjero a favor del colega ruso, y el gobierno zarista, preocupado por el deterioro de su imagen, buscó una solución. En lugar de reconocer que había cometido un error y una injusticia, decidió colocar a Mendeléiev en un puesto de interés científico pero apartado de las universidades: lo nombró guardián de Pesos y Medidas en Depo.

Inmediatamente el químico se puso a trabajar y reorganizó las actividades de ese centro alrededor de la investigación científica.

## Los últimos años

Alejandro III, el zar protector de Tolstoi y otros artistas, murió en 1896. Subió al trono el joven e inseguro Nicolás II. Las fiestas de coronación que se efectuaron en Moscú en el mes de mayo fueron acompañadas por la tragedia: millares de personas perecieron aplastadas a consecuencia de la aglomeración. ¿Quién podía adivinar que así se iniciaba el mandato del último zar y que el mismo terminaría también trágicamente?

Pero mientras una revolución se anunciaba en Rusia, otra sacudía al mundo de distinta manera. Era la revolución que se daba en los laboratorios de investigación científica.

Los descubrimientos parecían sucederse en cascada. En 1896 Henri Becquerel descubrió la radiactividad; en 1897 J. J. Thomson demostró que los rayos catódicos estaban constituidos por partículas con carga eléctrica negativa; en 1898 los esposos Curie descubrieron dos nuevos elementos radiactivos. La visión del átomo empezó a cambiar profundamente.

Mendeléiev seguía todos esos cambios, pero también los que se producían en su país.

Apenas iniciado el siglo, un pequeño país asiático, despreciado por los europeos, desafió al imperio ruso. El 2 de enero de 1904, ante la sorpresa no sólo de Rusia, sino de toda Europa, los japoneses tomaron Port Arthur, derrotando a las tropas del zar.

Todo esto lo vivió Mendeléiev, mientras la ciencia proseguía su acelerada marcha. En 1905 Albert Einstein dio a conocer su "Teoría especial de la relatividad", revolucionando los conceptos de *espacio* y *tiempo*.

La afección pulmonar, ya de grave pronóstico cuando era un joven de 21 años, acompañó a Mendeléiev toda su vida, esperando una oportunidad para manifestar toda su potencia destructiva. La oportunidad se la da el invierno de 1906-1907. El químico de las profecías, lúcido viejo de

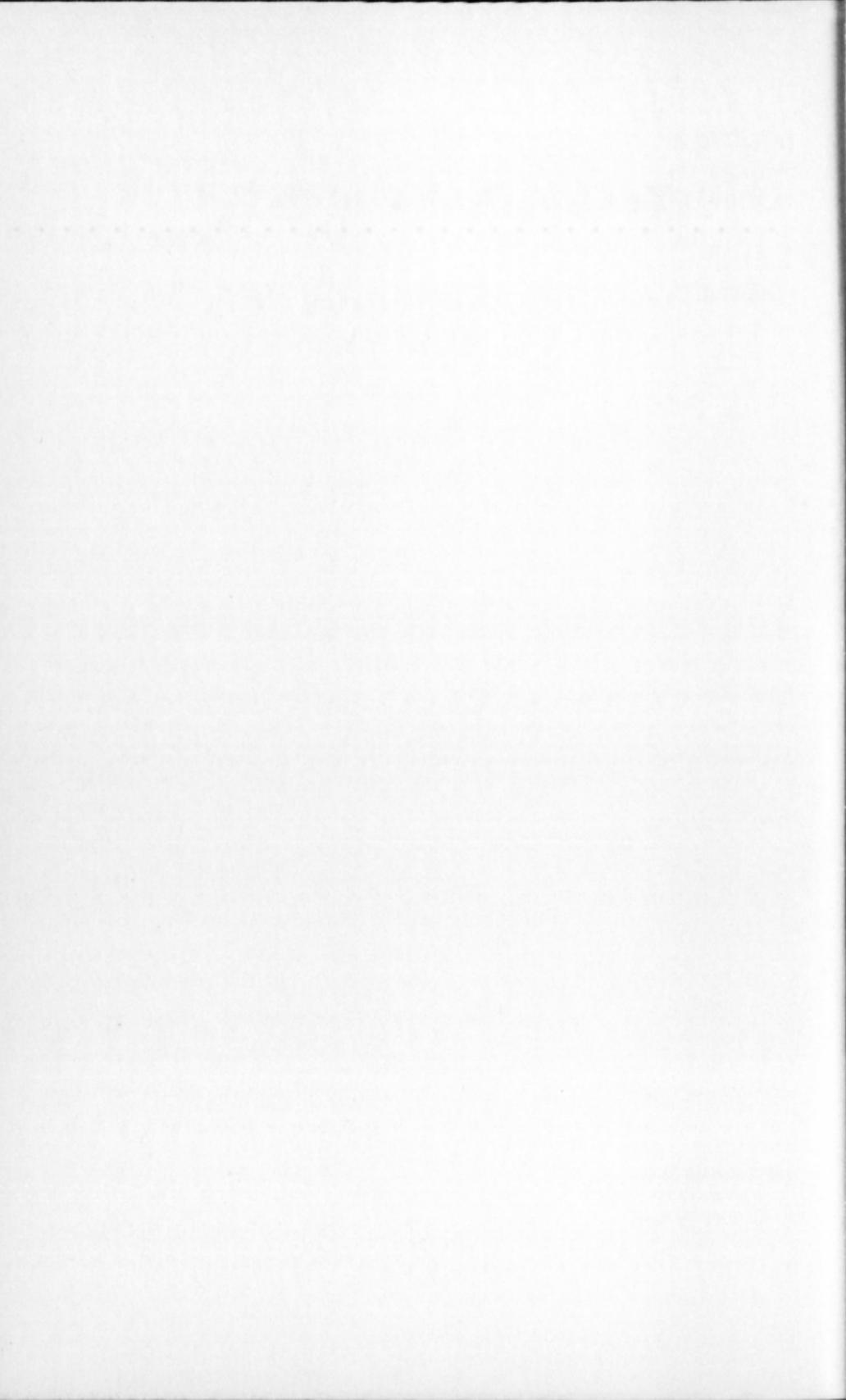
71 años de edad, cae enfermo y se ve obligado a guardar cama. No se levantará. La enfermedad domina su organismo, destruye sus defensas y el 2 de febrero de 1907 muere Mendeléiev.

Sus últimas palabras, antes de caer en cama, constituyen una despedida de la vida: "No podré beber nunca más."

NOTA DEL AUTOR: Agradezco el apoyo de los doctores Lena Ruiz Azuara y David Díaz, de la Facultad de Química de la UNAM, quienes me brindaron valiosa información para la elaboración de este libro. El doctor Díaz tradujo además, directamente del ruso, los fragmentos de la obra original de Mendeléiev que incluimos aquí.

**Textos de Mendeléiev**

*Fundamentos de  
química*



Hace tiempo que se conocen numerosos pequeños grupos de elementos parecidos. Existen los análogos del oxígeno, o del nitrógeno, o del carbono, y en lo que vamos a exponer a continuación encontraremos más ejemplos de estos grupos.

Su conocimiento conduce irremediablemente a dos preguntas: ¿Cuál es la causa de esta semejanza? ¿Cómo se relacionan entre sí estos grupos? Mientras no podamos contestar estas preguntas, será fácil caer en error al tratar de caracterizar los diferentes grupos, porque el grado de semejanza es relativo y al compararlos no se aprecian ni exactitudes ni cambios abruptos.

Por ejemplo, el litio es semejan-

te en unos aspectos al potasio, pero en otros lo es al magnesio; el berilio es semejante al magnesio y también al aluminio. En el talio, como veremos posteriormente y como observaron sus descubridores, hay mucha semejanza con el mercurio y con el plomo, pero algunas de sus propiedades podrían pertenecer al litio y al potasio.

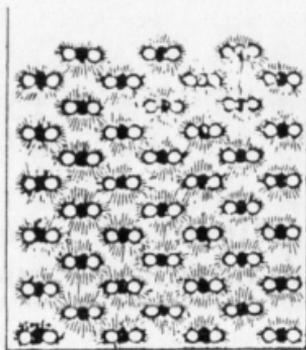
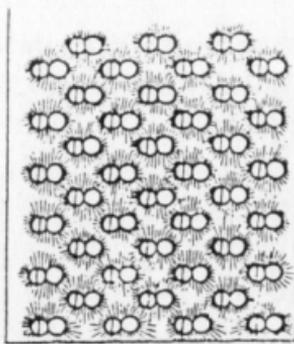
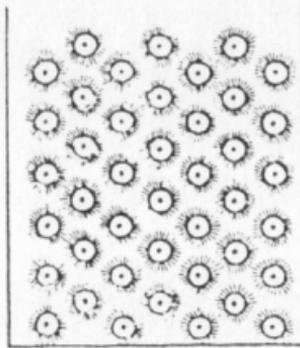
Por supuesto, ahí donde se pueda realizar una medición exacta, por fuerza deben ponerse límites a la comparación, fundada como está en indicios seleccionados con arbitrariedad.

Sin embargo, los elementos presentan una propiedad que sí puede medirse con exactitud: el peso atómico.

Esta magnitud nos sirve para medir la masa relativa de los átomos o, si se quiere evitar el uso del concepto "átomo", es una magnitud que representa la relación entre las masas de los elementos constituyentes de una sustancia.

De acuerdo con los conocimientos que tenemos de los fenómenos naturales, la masa de una sustancia es la propiedad fundamental de la que deben depender las demás pro-

Al destacar la semejanza entre los elementos de cierto grupo de la tabla periódica, perdemos de vista que algunas propiedades también hacen semejante al elemento a otro de diferente grupo. El litio es un metal alcalino (grupo I A) semejante al sodio, el potasio y el rubidio, pero también, por algunas propiedades, se parece al magnesio, del grupo de los alcalino-térreos (grupo II A).



Dalton, el verdadero fundador de la teoría atómica, representó así las moléculas de diversos elementos

piedades, porque todas las que conocemos son determinadas por las fuerzas que actúan definiendo el peso de un cuerpo, directamente proporcional, a su vez, a la masa de una sustancia.

Es urgente e inmediata la necesidad de buscar las causas de esa dependencia entre las propiedades semejantes de los elementos, por un lado, y su peso atómico, por otro.

Esta idea fundamental obliga a colocar todos los elementos en orden creciente de su peso atómico; al hacerlo se advierte inmediatamente la repetición periódica de sus propiedades relacionadas con la magnitud del peso atómico. Ya conocemos ejemplos de este fenómeno:

|         |           |          |
|---------|-----------|----------|
| F = 19  | Cl = 35.5 | I = 127  |
| Na = 23 | K = 39    | Cs = 133 |
| Mg = 24 | Ca = 40   | Ba = 137 |

En los grupos anteriores podemos observar claramente lo que decimos.

Los halógenos tienen pesos atómicos más bajos que los metales alcalinos, y éstos a su vez menores que los metales alcalino-térreos.

Si extendemos la observación, lle-

Mientras no se dispuso de una base teórica correcta, como la que proporcionó la postulación de la existencia de las moléculas, tal y como lo propuso Avogadro, no fue posible unificar las mediciones de pesos atómicos y lograr resultados concordantes. Mendeléiev se apoyó en esta medida precisa de los pesos atómicos para establecer su ley periódica.

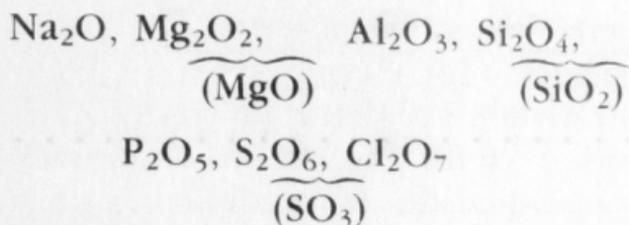
garemos a la siguiente conclusión: si todos los elementos se ordenan en orden creciente de su peso atómico, se manifiesta una repetición periódica de propiedades.

Surge así la ley periódica o de la periodicidad: *las propiedades de los elementos, al igual que las formas y propiedades de los compuestos que originan, se hallan en dependencia periódica (son una función periódica) de la magnitud de sus pesos atómicos.*

A partir de esta ley se propone el sistema periódico de los elementos, que aparece en la página 63, en el que se aprecia la elevación del peso atómico desde el más ligero, 1, para el hidrógeno, hasta el más pesado, 239, que corresponde al uranio.

Al observar la tabla se aprecia inmediatamente que a lo largo de un periodo, a medida que crece el peso atómico, crece también la capacidad de los elementos para combinarse con el oxígeno.

Por ejemplo, en la serie que va del Na al Cl, el peso atómico aumenta de 23, el del sodio, a 35.5, el del cloro, y los óxidos que se van formando son:



Cuando se llega al elemento del grupo VII cuyo óxido es  $\text{R}_2\text{O}_7$ , o bien se inicia una nueva serie, después del argón (grupo cero) y se repiten elementos parecidos a la serie anterior: X, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, o bien se colocan los elementos del grupo VII y así, a continuación del Mn, 55, vienen el Fe, 56; Co, 59 y Ni, 59.

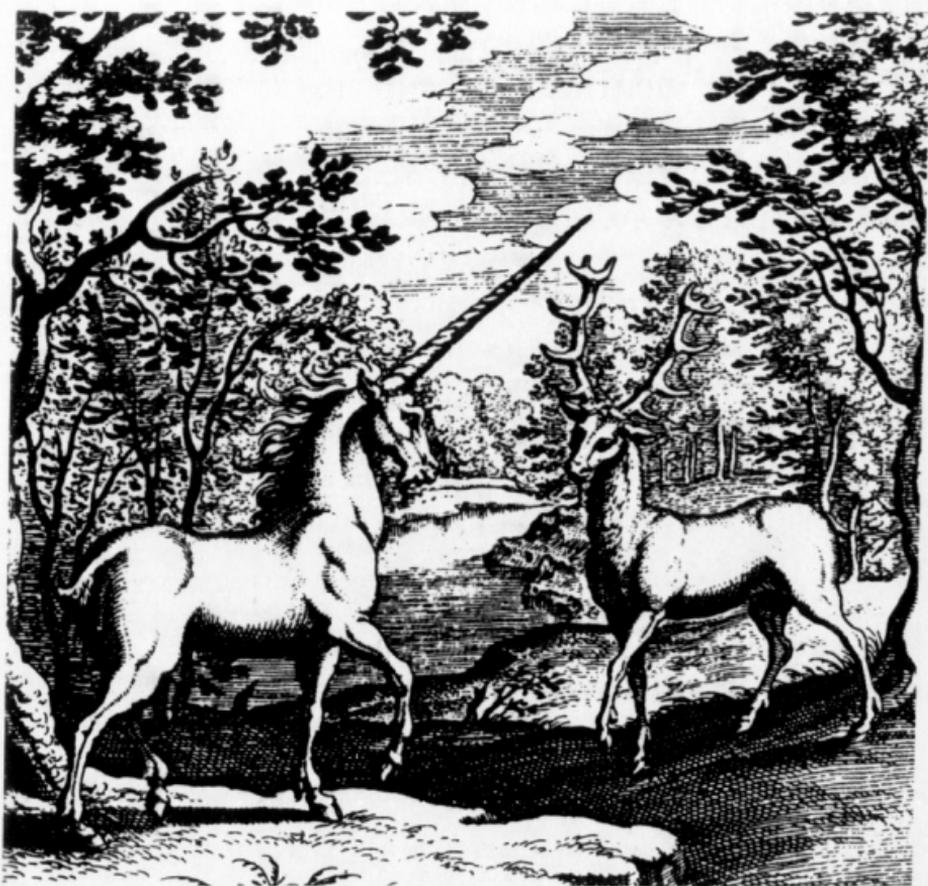
Como los elementos del grupo del argón no forman compuestos, su grupo debe ser llamado "cero".

Los elementos que tienen pesos atómicos más pequeños, aunque poseen algunas características semejantes a las del grupo, tienen todavía otras muy especiales y diferentes. El flúor, por ejemplo, es muy distinto al resto de los halógenos; el litio se distingue mucho de los demás metales alcalinos, etcétera.

Estos elementos ligeros se pueden considerar y denominar como *típicos*.

El H, al empezar la tabla, consti-

Hoy sabemos que los elementos del grupo de los llamados "gases inertes" no lo son tanto como se creía. En condiciones especiales se ha logrado la formación de compuestos de otros gases.



El unicornio (azufre) y el ciervo (mercurio) de las representaciones alquímicas tenían un gran encanto, sin duda, pero carecían de todo rigor científico.

tuye aisladamente, él solo, lo que correspondería a una serie, la primera.

En el sistema periódico cada elemento tiene un lugar en un grupo determinado, que se designa con un número romano, y en un renglón, en el que se identifica con un número arábigo.

El lugar o casilla en el que se acomoda cada elemento se relaciona con su peso atómico y sus propiedades, semejantes a las del resto de los elementos del grupo, por ejemplo la misma fórmula general de sus óxidos o de sus compuestos hidrogenados, e intermedias entre las de los dos elementos que tiene al lado en el mismo renglón.

Por ejemplo, si un elemento  $R_2$  forma parte del grupo R, integrado por los elementos

|       |
|-------|
| $R_1$ |
| $R_2$ |
| $R_3$ |

pero a la izquierda de  $R_2$  se encuentra  $Q_2$  y a su derecha  $T_2$ , de la siguiente manera:

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
|       | $R_1$ |       |
| $Q_2$ | $R_2$ | $T_2$ |
|       | $R_3$ |       |

etcétera, las propiedades de  $R_2$  se

La colocación del hidrógeno ha resultado un problema de la tabla periódica. Su lugar, al principio del grupo IA, sugiere semejanza con el resto de los elementos del grupo, pero como sabemos no se parece en nada a los metales alcalinos. Éste y otros problemas semejantes han llevado a la proposición de diferentes clasificaciones periódicas. Los grupos están formados por las columnas, conjuntos verticales de la tabla periódica, y los periodos por todos aquellos elementos que aparecen a lo largo de un mismo renglón.

deducen de las de  $R_1$ ,  $R_3$ ,  $Q_2$  y  $T_2$ .

Por ejemplo, el peso atómico de  $R_2$  corresponderá al promedio de los valores de  $R_1$ ,  $R_3$ ,  $Q_2$  y  $T_2$ , y se determinará así:

$$R_2 = \frac{R_1 + R_3 + Q_2 + T_2}{4}$$

Veamos el caso del selenio, Se, rodeado en la tabla de la siguiente manera:

|    |    |     |
|----|----|-----|
| V  | VI | VII |
| ⋮  | S  | ⋮   |
| As | Se | Br  |
| ⋮  | Te | ⋮   |

Los pesos atómicos de los elementos que rodean al Se son:

$S = 32.1$ ;  $Te = 127$ ;  $As = 75.0$ ;  
 $Br = 80$

El peso atómico del selenio se encontrará haciendo la operación

$$PA_{Se} = \frac{32.1 + 127 + 75.0 + 80}{4}$$

lo que nos da  $PA_{Se} = 78.5$ , muy cercano al calculado realmente, que es 79. Otras propiedades se pueden determinar de manera parecida. Su-

pongamos que desconocemos las propiedades del Se, pero sabemos que el As, a su izquierda, forma el compuesto nitrogenado  $H_3As$ , y que el Br, a su derecha, forma  $HBr$ . ¿Qué fórmula *intermedia* nos queda para el compuesto hidrogenado que origine el Se? Evidentemente,  $H_2Se$ .

De tal manera que surge la posibilidad de *pronosticar las propiedades de elementos aún desconocidos, cuando están rodeados de conocidos*.

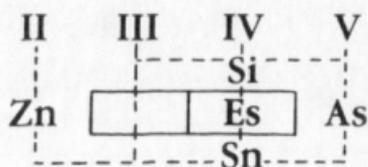
En la década de 1870 se desconocía la existencia de algunos elementos, pero sus huecos, casillas vacías, habían quedado situados en la tabla periódica.

Uno de ellos, por ejemplo, era el que debería quedar localizado en el grupo IV, 5º renglón; arriba de él se encontraba, en el mismo grupo, el silicio, por lo que al desconocido lo llamé eka-silicio, usando el prefijo *eka* que en sánscrito significa *uno*, y lo identifiqué con el símbolo *Es*.

Grupo IV, 5º periodo.

Es decir, uno *después* del silicio, en sentido descendente, lo que equivale a decir: "el que sigue del Si".

¿Qué propiedades debería tener? Observé los elementos que lo rodeaban:



y deduje sus propiedades: "peso atómico cercano a 72; es un metal; óxido superior  $\text{EsO}_2$ ; óxido inferior  $\text{EsO}$ ; sus derivados con elementos monovalentes deben tener la fórmula  $\text{EsX}_4$  y son poco estables químicamente; el elemento Es forma derivados organometálicos de fórmulas  $\text{Es}(\text{CH}_3)_4$ ,  $\text{Es}(\text{CH}_3)_3\text{Cl}$ ,  $\text{Es}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ; hierve a los  $160^\circ\text{C}$  aproximadamente; su derivado clorado,  $\text{EsCl}_4$ , es un líquido volátil que hierve hacia los  $90^\circ\text{C}$ ;  $\text{EsO}_2$  será un anhídrido cuya disolución acuosa, débilmente ácida, será coloidal. Este metal se separará con relativa facilidad de su óxido y del fluoruro doble que forme con el potasio,  $\text{K}_2\text{EsF}_6$ , por reducción; el sulfuro,  $\text{EsS}_2$ , se parecerá al del estaño  $\text{SnS}_2$  y al del silicio  $\text{SiS}_2$ , y probablemente se disolverá en sulfuro de amonio; el peso específico del Es tendrá un valor cercano a 5.5; la densidad del  $\text{EsO}_2$  tendrá un valor aproximado de 4.7.

Estas predicciones sobre el Es *las*

*bice en 1871*, apoyándome en las propiedades de los elementos que lo rodeaban, cuando las propiedades del que quedaba a su izquierda *eran todavía desconocidas*, aunque también las predije, llamándolo *eka-aluminio*.

Cuando el profesor Clemens Winkler, de Friburgo, descubrió el elemento al que llamó germanio, encontró que sus propiedades correspondían a las predichas para el eka-silicio, con lo que se confirmó la exactitud de la ley periódica.

Las propiedades predichas para el eka-aluminio se confirmaron cuando Lecoq de Boisbaudran descubrió el elemento al que llamó galio.

Asimismo, Nilson opina que las propiedades del escandio corresponden a las pronosticadas para el eka-boro.

Esto nos permite ver que la ley periódica no sólo es útil para describir lo conocido, sino también para penetrar en lo desconocido.

La variación periódica de las propiedades de los elementos, en dependencia de la masa, o del peso atómico, es distinta a otras formas de relación periódica (por ejemplo las temperaturas del aire con res-

Como vimos Winkler descubrió el germanio (Ge) en 1886, Lecoq de Boisbaudran halló el galio (Ga) en 1875, y Nilson descubrió el escandio (Sc) en 1879, cuando estudiaba las tierras raras.

pecto al tiempo); el peso de los átomos no aumenta de una manera *continua* sino *discontinua*, es decir, a saltos; entre dos elementos vecinos,  $C = 12$  y  $N = 14$  o  $K = 39$  y  $Ca = 40$ , no hay otros de peso atómico intermedio, cosa que ocurre en concordancia no sólo con la ley periódica sino con la de las relaciones o proporciones fijas de Dalton. La molécula de un compuesto hidrogenado puede tener un átomo de H, como en HF; o dos, como en  $H_2O$ ; o tres, como en  $NH_3$ , etcétera; pero no existen moléculas que tengan  $2 \frac{1}{2}$  átomos de H, o  $1 \frac{1}{7}$ , o  $3 \frac{1}{3}$ , etcétera; de la misma manera, de acuerdo con la ley periódica, no existe entre el N y el O otro elemento de peso intermedio entre 14, el peso del nitrógeno, y 16, el del oxígeno.

Esto significa que la dependencia periódica de los elementos *no se puede expresar mediante una función algebraica continua*.

La esencia de la ley periódica se relaciona con un principio general físico-mecánico en correspondencia con las fuerzas naturales. La masa de la sustancia está sujeta a la ley de la gravitación universal de

Newton, a la atracción a corta distancia y otros fenómenos naturales. No hay razón para pensar *que las fuerzas químicas no dependen de la masa*. La dependencia se explica porque los átomos están constituidos por masa.

La individualidad de los elementos se supedita al principio general supremo de la acción de la gravedad, es decir, de las mismas leyes que describen la mayoría de los fenómenos físicos.

En algunos grupos de elementos se genera un hueco para aquellos que posiblemente serán descubiertos en el futuro. . . Se debe esperar el descubrimiento de muchos cuerpos simples desconocidos, por ejemplo los parecidos a los elementos Al y Si, con pesos de 65 y 75 respectivamente.

En el grupo III nos falta un elemento, en el tercer renglón, que va después del cinc, y que debe tener un peso atómico cercano a 68. A este elemento lo llamaremos eka-aluminio, El = 68, pues se encuentra debajo del aluminio. A diferencia del eka-boro, el El será capaz de formar compuestos organometálicos; como ocupa la posición inter-

Este párrafo fue escrito del 2 al 13 de marzo de 1869, en el artículo "Relación de las propiedades con el peso atómico de los elementos". Los siguientes corresponden al artículo "Sistema natural de los elementos y su aplicación a la asignación de propiedades de los elementos aún no descubiertos", del 11 de diciembre del mismo año.



media entre el aluminio y el indio, en el sentido descendente, deberá tener propiedades semejantes y cercanas a las de estos elementos, entre ellas la de formar alumbres. Su óxido se disolverá en disolución acuosa de potasa; sus sales serán más estables que las del aluminio; su volumen atómico tendrá un valor aproximado a 11.5; su peso específico en estado sólido será de un valor cercano a 6.0.

Este elemento, que será un metal, tendrá propiedades de transición entre las del aluminio y el indio y es muy posible que sea más volátil que el primero pero menos que el segundo; cabe esperar que inducirá la apertura de investigaciones espectrales, al igual que ha ocurrido con el indio y el talio, de su mismo grupo; aunque no podemos esperar que sus propiedades espectrales sean tan notables como las que llevaron al descubrimiento de estos elementos.

## **Donde otra vez parece que nos equivocamos de personaje**

La reacción en cadena se desató, incontenible, dentro del artefacto. Los neutrones chocaron con núcleos de uranio 235 provocando su ruptura, la liberación de nuevos neutrones y la transformación de masa eléctrica.

La temperatura ascendió mucho más rápidamente de lo que podemos pensar hasta alcanzar el valor de varios millones de grados centígrados, semejante a la de zonas profundas del sol. Brotó una pequeña estrella al producirse el chispazo interior, estrella que sirvió para encender el combustible y aumentar el efecto hasta lo increíble. La fisión original que produjo la chispa de millones de grados centígrados sirvió para producir la gran combustión nuclear de la fusión, con la que la energía liberada se hizo varios millones de veces superior.

Este sol esférico que nació en el brevísimo instante de una fracción de segundo era pequeño, de apenas un kilómetro de radio, pero todo lo que abarcó desapareció volatilizado, destruidas sus moléculas y átomos.

En unos cuantos segundos ardieron todos los materiales combustibles situados a 10 kilómetros de distancia del centro de la explosión. La bola de fuego ascendió incontenible y monstruosa, arrastrando dos millones de toneladas

de polvo y humo, hasta una altura varias veces superior a la del monte Everest.

Así nació, el 1 de noviembre de 1952, en el atolón de Bikini, en el océano Pacífico, la bomba de hidrógeno, bomba H, la primera bomba termonuclear.

Su potencia superaba el equivalente a la explosión instantánea de más de un millón de toneladas de TNT. Fue bautizada con el sobrenombre del presidente de los Estados Unidos, "Ike".

Las bombas atómicas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki, en agosto de 1945, quedaban muy superadas. Su potencia, equivalente a la de la explosión instantánea de 20 mil toneladas de TNT, había servido en esta ocasión simplemente de cebo, de chispazo inicial para lograr la fusión del nitrógeno pesado, del deuterio.

Los seres humanos quedaron atónitos.

Un comerciante hábil, productor de trajes de baño, se sintió inspirado: diseñó un nuevo traje femenino de dos piezas y lo llamó "bikini". Tuvo un extraordinario éxito.

Los residuos de la explosión fueron recogidos, e inmediatamente transportados a Estados Unidos para ser analizados y usados en proyectos de investigación.

Un primer estudio, efectuado en el Laboratorio Nacional Argonne, de Chicago, y en el Laboratorio Científico de Los Álamos, Nuevo México, llevó al sorprendente descubrimiento de isótopos pesados como el plutonio 244 y el plutonio 246, hecho que llamó la atención porque el isótopo más pesado que se conocía por aquel entonces era el plutonio 243.

Esto demostraba que el núcleo del uranio 238, con 238 partículas en total, suma de protones y neutrones, podía incorporar muchos neutrones procedentes del exterior y transformarse, por emisión de partículas beta, en esos isótopos pesados del plutonio.

Inmediatamente los investigadores se vieron asaltados por una duda: ¿no sería posible hallar entre los restos de la explosión otros isótopos desconocidos de mayor núme-

ro de protones que el plutonio, formados por emisión beta?

Recordemos que la emisión de una partícula beta viene acompañada por la transmutación en el núcleo radiactivo de *un* neutrón en *un* protón, lo que implica el aumento del número atómico original en una unidad.

Como el número atómico es la propiedad más característica de cada elemento, su cambio implica la transformación del elemento en otro diferente. En el caso de la emisión beta, al aumentar en *una* unidad, el nuevo número atómico pertenece al elemento colocado *un* lugar adelante del original en la tabla periódica.

La duda de los investigadores era muy importante porque se relacionaba con la posibilidad de encontrar *un nuevo elemento transuránico*, es decir, de mayor número atómico que el del uranio.

Se procedió a conseguir más material para la investigación, extrayendo centenares de kilogramos de coral de uno de los atolones próximos a la zona de explosión.

Los análisis condujeron a la identificación de *dos* nuevos elementos, a través de la percepción de partículas alfa emitidas por uno de ellos a lo largo de 20 días y, por el otro, durante 22 horas.

El primero, descubierto el 19 de diciembre de 1952, e identificado como el de número atómico 99, fue llamado *einstenio*, en honor de Albert Einstein.

El segundo fue identificado como el de número atómico 100, el 16 de enero de 1953, y llamado *fermio*, en honor de Enrico Fermi. El número total de átomos que componía la muestra usada en la identificación era sumamente pequeño; *sólo 200 átomos*.

Estos descubrimientos estimularon la imaginación del equipo de investigadores de la Universidad de California en Berkeley, quienes compartían la investigación que se realizaba con los científicos del grupo de Los Álamos.

El equipo de Berkeley estaba formado en aquel momento por Glenn T. Seaborg y sus colaboradores: A. Ghiorso, S. G. Thompson y G. H. Higgins.

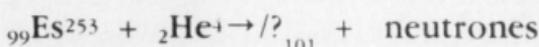
Seaborg y su equipo de químicos se propusieron lograr la obtención de otros elementos transuránicos, a partir de pequeñas cantidades de *einstenio*, para poner a prueba las nuevas técnicas de análisis químicos de elementos radiactivos que estaban desarrollando.

Una idea que se les ocurrió fue la de tratar de sumar al núcleo del einstenio, que tenía 99 protones y 154 neutrones, es decir número atómico 99 y número de masa 253,\* un núcleo de helio, correspondiente a una partícula alfa constituida por 2 protones y 2 neutrones.

La partícula alfa, o *belión*, tiene dos cargas eléctricas positivas y en consecuencia para conseguir incorporarla al núcleo de cualquier átomo, también positivo, hay que reunir la fuerza de repulsión que se manifiesta entre ambos. Esto se consigue aumentando la energía cinética del proyectil, partícula alfa, en un acelerador de partículas.

Glenn T. Seaborg estaba emocionado y preocupado. "¿Será posible detectar el elemento 101?", se preguntó.

Tomó un gis y escribió en el pizarrón del laboratorio:



Sabía que de lograrse la unión de los núcleos de einstenio y helio se llegaría al elemento desconocido de número atómico 101 (99 protones + 2 protones = 101 protones), sin que pudiera saber cuál sería su masa, dada la variable cantidad de neutrones que podrían ser expulsados por el choque. "¿Cuántos átomos del producto podríamos obtener para su detección?". Escribió en el pizarrón la fórmula que le permitiría hacer este cálculo maravilloso:

$$N \cong N' \sigma It$$

Seaborg fue sustituyendo los valores que conocía:

\* Número de masa = suma de protones y neutrones de un núcleo. En este caso: 99 protones + 154 neutrones = 253 nucleones.

$N'$  (número de átomos de einstenio usados como blanco) =  $10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$

$\sigma$  (área transversal de probabilidad para el choque) =  $10^{-27} \text{ cm} \frac{1}{10^{27}} \text{ cm}^2$

$I$  (intensidad del haz de partículas alfa o heliones) =  $10^{14}$  partículas/segundo-cm<sup>2</sup>.

$t$  (tiempo efectivo de bombardeo con el acelerador) =  $10^4 \text{ s} = 10\ 000$  segundos

$$(10^4) \cong \frac{10^{27}}{10^{27}} \cong 1$$

“¡Uno!”. Seaborg se quedó verdaderamente asombrado. Si las cosas salían como indicaban las matemáticas, se formaría ¡un solo átomo de producto! ¿Podrían detectar su presencia?

Por eso, los investigadores que acompañaban a Seaborg, en el laboratorio de la Universidad de California, en Berkeley, estaban tan excitados.

Los primeros resultados fueron nulos. No apareció ninguna *radiactividad nueva que delatará un nuevo elemento*.

Sin desalentarse prosiguieron sus experimentos y en uno de los bombardeos observaron, en el aparato electrónico de medición, una pulsación anormalmente grande.

“¡Aquí está!”, pensó Seaborg, mientras alguno de sus compañeros saltaba como movido por un resorte.

Pero se trataba de una pulsación pasajera, que no se repitió.

Los experimentos continuaron durante varios días. Para mejorar la percepción de la reacción que deseaban, los químicos nucleares del grupo diseñaron un sistema que ponía en comunicación el circuito del contador electrónico con una campana, de tal manera que cada vez que se registraba una de las raras pulsaciones, sonaba la campana.

Una tarde, poco después de sonar la dichosa campa-

na, sintieron una gran conmoción en el pasillo de acceso a su laboratorio.

“¿Dónde está el fuego? ¿Dónde está el fuego?” Un grupo de bomberos penetró como tromba, arrasando todo a su paso, rompiendo puertas y ventanas mientras se desplazaban por el laboratorio ante los asustados investigadores que contemplaban, sin entenderlo, el caos generado a su alrededor.

Al enterarse de que la campana no denunciaba fuego alguno, el jefe de bomberos se encolerizó:

“¿Qué es esto, señores?; ¿una broma? ¿Qué pretenden?”

Fue imposible convencerlo. Su argumento, hay que reconocerlo, era fuerte:

“Señores doctores, ¿cómo vamos a saber nosotros cuando se incendia *de verdad* el laboratorio? Hagan el favor de desconectar la campanita.”

Ni hablar. Se tuvo que cambiar de estrategia.

El 18 de febrero de 1955 se estaba llegando al límite de la paciencia.

“*Okay*. Definamos las cosas. ¿Por qué no nos quedamos toda esta noche haciendo observaciones?”, dijo alguien.

“Buena idea”, apuntó Seaborg, “quedémonos, pero aumentemos el número de observaciones. Hagamos más bombardeos.”

“Sí”, aprobó un tercero, “podemos hacer *tres* bombardeos consecutivos de tres horas cada uno.”

“Y analicemos con rapidez, en cada caso, los productos.”

Así lo hicieron.

Utilizaron cinco contadores de fisión espontánea, a sabiendas de que el producto final de las transmutaciones podía fisionarse.

Al amanecer estaban cansados, pálidos y ojerosos, pero felices.

Sin lugar a dudas los núcleos de helio se sumaban a los

de einstenio y se formaba un *nuevo elemento, artificial*, de número atómico 101, cuyo núcleo, a su vez, capturaba un electrón del exterior disminuyendo su carga positiva en una unidad al neutralizar la de un protón,\* para transformarse en el elemento 100, fermio, el cual se fisionaba espontáneamente.

Años después, Seaborg, premio Nobel de Química 1951, narró el acontecimiento y escribió: "Se sugirió para este elemento 101 el nombre de *mendelevio*, en honor del gran químico ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev, quien fue el primero en usar el sistema periódico de los elementos para predecir las propiedades químicas de elementos no descubiertos todavía, *principio que fue la clave para el descubrimiento de casi todos los elementos transuránicos.*"

Como puedes ver, amigo lector, tampoco esta vez nos equivocamos de personaje.

\* Esta transformación nuclear, muy rara comparada con la emisión de partículas alfa, beta y positrones, se llama *captura de electrón*, y disminuye el número atómico en una unidad.

| Nombre     | Símbolo | Nombre      | Símbolo | Nombre      | Símbolo |
|------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| Actinio    | Ac      | Fósforo     | P       | Plomo       | Pb      |
| Aluminio   | Al      | Francio     | Fr      | Plutonio    | Pu      |
| Americio   | Am      | Gadolinio   | Gd      | Polonio     | Po      |
| Antimonio  | Sb      | Galio       | Ga      | Potasio     | K       |
| Argón      | Ar      | Germanio    | Ge      | Praseodimio | Pr      |
| Arsénico   | As      | Hafnio      | Hr      | Prometio    | Pm      |
| Astato     | At      | Hahnio      | Ha      | Protactinio | Pa      |
| Azufre     | S       | Helio       | He      | Radio       | Ra      |
| Bario      | Ba      | Hidrógeno   | H       | Radón       | Rn      |
| Berilio    | Be      | Hierro      | Fe      | Renio       | Re      |
| Berkelio   | Bk      | Holmio      | Ho      | Rodio       | Rh      |
| Bismuto    | Bi      | Indio       | In      | Rubidio     | Rb      |
| Boro       | B       | Iridio      | Ir      | Rutenio     | Ru      |
| Bromo      | Br      | Kurchatovio | Ku      | Samario     | Sm      |
| Cadmio     | Cd      | Lantano     | La      | Selenio     | Se      |
| Calcio     | Ca      | Lawrencio   | Lr      | Silicio     | Si      |
| Californio | Cf      | Litio       | Li      | Sodio       | Na      |
| Carbono    | C       | Lutecio     | Lu      | Talio       | Tl      |
| Cerio      | Ce      | Magnesio    | Mg      | Tantalio    | Ta      |
| Cesio      | Cs      | Manganeso   | Mn      | Tecneio     | Tc      |
| Cinc       | Zn      | Mendelevio  | Md      | Telurio     | Te      |
| Cloro      | Cl      | Mercurio    | Hg      | Terbio      | Tb      |
| Cobalto    | Co      | Molibdeno   | Mo      | Titanio     | Ti      |
| Criptón    | Kr      | Neodimio    | Nd      | Torio       | Th      |
| Cobre      | Cu      | Neón        | Ne      | Tulio       | Tm      |
| Cromo      | Cr      | Neptunio    | Np      | Unnilhexium | Unh     |
| Curio      | Cm      | Niobio      | Nb      | Uranio      | U       |
| Disproσιο  | Dy      | Niquel      | Ni      | Vanadio     | V       |
| Einsteinio | Es      | Nitrógeno   | N       | Wolframio   |         |
| Erbio      | Er      | Nobelio     | No      | o Tungsteno | E       |
| Escandio   | Sc      | Oro         | Au      | Xenón       | Xe      |
| Estaño     | Sn      | Osmio       | Os      | Yodo        | I       |
| Estroncio  | Sr      | Oxígeno     | O       | Yterbio     | Yb      |
| Europio    | Eu      | Paladio     | Pd      | Ytrio       | Y       |
| Fermio     | Fm      | Plata       | Ag      | Zirconio    | Zr      |
| Flúor      | F       | Platino     | Pt      |             |         |

Nombres y símbolos de los elementos químicos

# Índice analítico y glosario

**ácido:** Sustancia donadora de ión hidrógeno (protones) en un fenómeno químico.

31, 34, 41, 46-48, 53

**actinio:** Elemento de símbolo químico Ac. Mendeléiev predijo su existencia y lo llamó dbi-lantano.

67, 68

**alcohol:** Sustancia orgánica en la que aparece cualquier cadena de átomos de carbono a los que se asocia hidrógeno.

41

**aldehído:** Sustancia producida por la deshidrogenación de alcoholes primarios.

41, 48

**Alejandro II:** Zar de Rusia, nacido en 1818 y muerto en 1881.

23

**Alejandro III:** Zar de Rusia, nacido en 1845 y muerto en 1894.

71

**Alemania**

39, 41, 64

**Alta Saboya**

44

**alumbres:** Sales metálicas en las que aparecen el aluminio y otros metales.

67, 90

**amoniaco:** Compuesto portador de nitrógeno.

34

**anhídrido:** Óxido que al reaccionar con el agua forma un ácido.

85

**Aristóteles:** Filósofo griego (384-322 a.C.) que influyó poderosamente sobre los científicos europeos durante muchos siglos.

23

- astato:** Elemento de símbolo químico At. Mendeléiev predijo su existencia y lo llamó dbi-yodo.  
67, 68
- átomo:** Partícula más pequeña de la que está compuesta toda materia.  
27, 28, 30, 33, 36, 37, 45-48, 58, 71, 76, 87, 88, 91, 93-95
- átomo gramo:** Peso atómico de un elemento expresado en gramos.  
66
- Austria**  
18, 44, 53
- Austria-Hungría**  
45
- Avogadro, Amadeo:** Científico italiano (1776-1856), que propuso la existencia de moléculas.  
33, 36, 48, 78
- Baden**  
47
- Bailén**  
25
- Báilard, Antoine Jérôme:** Químico francés (1801-1876), que descubrió e identificó el bromo.  
31-32
- Becquerel, Henri:** Químico francés (1852-1908) descubridor de la radiactividad.  
71
- Bélgica**  
46
- Berkeley**  
93, 95
- Berthelot, Marcellin:** Químico francés (1827-1907), fundador de la termodinámica.  
34
- Berthollet, Claude:** Químico francés (1748-1822) que en colaboración con otros colegas hizo importantes aportaciones a la química.  
25
- Berzelius, Jöns Jacob:** Químico sueco (1779-1848), descubridor del selenio, el silicio y el torio.  
31, 32, 34, 36, 40, 47
- Bikini**  
92
- Bohemia**  
53
- Borbones:** Dinastía francesa que reinó en varios países de Europa de 1598 a 1931.  
51
- Borodin, Alexandr:** Químico y compositor ruso (1834-1887).  
43, 48

**Boyle, Robert:** Físico y químico inglés (1627-1691). Fue uno de los primeros en obtener el fósforo.

25, 26

**Brasil**

37

**Brno**

53

**Bunsen, Robert Wilhelm:** Químico alemán (1811-1899); entre otras contribuciones, inventó el mechero que lleva su nombre.

43, 45, 48

**Butlerov, Alexandr Mijailovich:** Químico ruso.

45, 48

**Cannizzaro, Stanislao:** Químico italiano (1826-1910) que sentó las bases de la moderna teoría atómica.

37-40, 45, 48, 50, 56, 61

**Caprera**

37

**Cavour, Camilo:** Estadista italiano (1809-1861) que desempeñó un importante papel en la unificación de su país.

44

**- Cerdeña**

39

**compuesto:** Sustancia formada por la unión de varios elementos.

26, 34, 41, 45, 46, 67, 85, 88

**Couper, Archibald Scott:** Químico escocés, nacido en 1831 y muerto en 1892.

46

**Courtois, Bernard:** Químico francés (1777-1838). Fue uno de los primeros descubridores del yodo.

31

**Crookes, William:** Químico y físico inglés (1832-1919), descubridor del talio.

28

**Curie, Marie y Pierre Joliot:** Célebre matrimonio de químicos, ella polaca (1867-1934) y él francés (1859-1906). Descubrieron el polonio y el radio.

68, 69, 71

**Custoza**

39

**Checoslovaquia**

53

**Chicago**

92

**Chízov, D. S.:** Condiscípulo del padre de Mendeléiev.

40

- Dalton, John:** Químico y físico inglés (1766-1844). Hizo contribuciones en torno al concepto del átomo.  
26-28, 35, 36, 77, 87
- Darwin, Charles:** Naturalista inglés (1809-1882), que reveló el mecanismo por el cual evolucionan los seres vivos.  
43
- Davy, Humphrey:** Químico inglés (1778-1829). Entre otras contribuciones importantes, descubrió el potasio y el sodio.  
30, 31
- De Vries, Hugo:** Botánico holandés (1848-1935) que hizo importantes investigaciones en genética.  
53
- Debiere, André Louis:** Químico francés (1874-1949), descubridor del actinio.  
68
- Depo**  
70
- deuterio:** Hidrógeno pesado.  
92
- Döbereiner, Johann Wolfgang:** Químico alemán (1780-1949), que estudió los elementos agrupándolos en tríadas.  
32, 33, 56
- Dostoievski, Fedor:** Novelista ruso (1821-1881), autor de varias obras de fama mundial.  
11-14, 16
- Dunant, Henri:** Filántropo y escritor suizo (1818-1910), creador de la Cruz Roja Internacional.  
44
- Dylan, Bob:** Cantante y compositor estadounidense, nacido en 1941.  
33

## Edimburgo

46

- Einstein, Albert:** Físico alemán (1879-1955), autor de las teorías de la relatividad.  
25, 71, 93
- Eisenhower, David:** Militar y político estadounidense (1891-1969); fue presidente de su país.  
92
- eka-tantalio:** Elemento químico cuya existencia predijo Mendeléiev. Hoy se denomina hahnio, y su símbolo químico es Ha.  
67
- electrón:** Partícula elemental que tiene carga eléctrica negativa.  
28, 97
- elemento:** Sustancia formada por átomos del mismo número atómico. Véanse las páginas 63, 98; respecto a elementos mencionados en el texto, véase: aluminio: 59, 66-68, 76, 88, 90; antimonio: 56, 59; argón: 80; arsénico: 48, 56, 59, 83-85; azufre: 33, 56, 81, 83; bario: 30, 33, 56, 59, 78;

berilio: 76; boro: 30, 67; bromo: 32, 56, 83, 84; calcio: 30, 33, 56, 59, 78, 87; carbono: 46, 75, 87; cerio: 31; cesio: 43, 56, 59, 78; cinc: 67, 85, 88; cloro: 31, 32, 56, 78, 79; einstenio: 93-95, 97; estaño: 85; estroncio: 30, 33, 56, 59; fermio: 93, 97; flúor: 56, 78, 80; fósforo: 56; helio: 94, 96; hidrógeno: 27, 28, 36, 58, 62, 79, 80, 82, 87, 92; hierro: 27; indio: 67, 68, 90; litio: 56, 59, 61, 75, 76, 80; magnesio: 30, 56, 59, 76, 78; mercurio: 76, 81; nitrógeno: 58, 75, 87, 92; oxígeno: 28, 36, 58, 75, 79, 87; plomo: 76; plutonio: 92, 93; potasio: 30, 56, 59, 61, 76, 78, 85, 87; rubidio: 43, 56, 59, 76; selenio: 31, 33, 56, 83, 84; silicio: 31, 67, 84, 85, 88; sodio: 30, 56, 59, 61, 76, 78, 79; talio: 67, 76, 90; telurio: 31, 33, 56, 83; torio: 31; uranio: 31, 79, 91-93; wolframio: 25; yodo: 31, 32, 56, 78; zirconio: 31

**elementos transuránicos:** Elementos químicos artificiales de número atómico superior al del uranio.

93, 94, 97

**Elhúyart, Fausto:** Químico español (1755-1833) que junto con su hermano Juan José descubrió y aisló el wolframio.

25

**Engels, Friedrich:** Pensador alemán (1820-1895), principal colaborador de Karl Marx.

39

**Ershov, Piotr Pávlovich:** Profesor de química de Mendeléiev.

38

**Escandio:** Elemento de símbolo químico Sc. Mendeléiev predijo su existencia y lo llamó eka-boro.

67, 68, 86, 88

**Estados Unidos**

18, 21, 42, 43, 92

**Europa**

16, 18-21, 37, 39, 43, 45, 47, 51, 53, 71

**Everest**

92

**Fermi, Enrico:** Físico italiano (1901-1954), que hizo importantes investigaciones en el campo de la física atómica.

93

**Finlandia**

14

**fisión:** Ruptura en dos o más fragmentos del núcleo de un átomo pesado.

91, 96

**Florencia**

50

**Fourcroy, Antoine:** Químico francés (1755-1809) que, en colaboración con Lavoisier, estableció una nueva nomenclatura química.

25

**Francfort**

43

## **Francia**

18, 30, 39, 41, 44, 45, 47, 52, 68

**francio:** Elemento de símbolo químico Fr. Mendeléiev predijo su existencia y lo llamó dbi-cesio.

67, 68

**Francisco II:** Rey Borbón (1836-1894) de Nápoles.

44

**Frankland, Edward:** Químico inglés (1829-1899), que propuso la teoría de las valencias y descubrió el helio.

45, 48

## **Friburgo**

86

**fusión:** Unión de dos o más núcleos de átomos ligeros en un solo núcleo de mayor masa.

91, 92

**Galilei, Galileo:** Científico italiano (1564-1642), que sentó las bases del moderno método científico.

26

**galio:** Elemento de símbolo químico Ga. Mendeléiev predijo su existencia y lo llamó eka-aluminio.

67, 68, 86, 88

## **Gante**

46

**Garibaldi, Giuseppe:** Patriota italiano (1807-1882) que luchó por la unificación de su patria.

37, 39, 44, 48, 50-52

**gas:** Forma fluida de la materia en la que las moléculas tienen la máxima libertad de movimiento.

32, 80

**Gay-Lussac, Joseph Louis:** Químico francés (1778-1850). Hizo importantes estudios sobre los pesos atómicos de los elementos; aisló el boro e identificó el yodo.

30, 31, 36

## **Génova**

37, 50

**Gerhardt, Charles:** Químico francés (1816-1856), creador de una clasificación para los compuestos orgánicos.

28

**germanio:** Elemento de símbolo químico Ge. Mendeléiev predijo su existencia y lo llamó eka-silicio.

67, 68, 84-86

**Ghiorso, A.:** Colaborador de Seaborg.

93

## **Grecia**

51

**Grigoriev:** Patriota ruso, compañero de prisión de Dostoievski.

14

**Guyton de Morveau, Louis:** Químico francés (1737-1816), colaborador de Lavoisier.  
25

**Habsburgo:** Dinastía europea que reinó en diversos países entre 1278 y 1918.  
37-39

**Heidelberg**  
41, 43, 45, 50, 56

**Higgins, G. H.:** Colaborador de Seaborg.  
93

**Hiroshima**  
92

**Hisinger, Wilhelm:** Mineralogista sueco (1766-1852); junto con Berzelius identificó el cerio.  
31

**Hittorf, Johann:** Físico y químico alemán (1824-1914); descubrió los iones.  
28

**Inglaterra**  
18, 19, 21, 26, 45

**isótopo:** Átomos de un elemento que tienen el mismo número atómico y diferente masa.  
92

**Italia**  
18, 37, 39, 44, 50, 51, 68

**Juárez, Benito:** Presidente mexicano, nacido en 1806 y muerto en 1872, principal impulsor de las leyes de reforma.  
25

**Kama, río**  
19

**Karakozov, D. B.:** Estudiante ruso que atentó contra la vida del zar Alejandro II.  
23

**Karlsruhe**  
47-50, 52, 56, 61

**Kazán**  
40

**Kekulé, Friedrich August:** Químico alemán (1829-1896). Descubrió la forma en que se integra una molécula de carbono.  
45-48

**Kiev**  
23

**Kirchhoff, Gustav Robert:** Químico alemán (1824-1887), que descubrió el cesio y el rubio.  
43

**Klaproth, Martin Heinrich:** Químico alemán (1743-1817), descubridor del cerio, del uranio y codescubridor del telurio y el zirconio.

31

**Kolbe, Adolf:** Químico alemán (1818-1884); logró la síntesis del ácido acético a partir de sustancias inorgánicas.

34, 46, 48

**Kornilieva, María Dimitrievna:** Madre de Mendeléiev.

37-40

## **La Romaña**

44

**Laurent, Auguste:** Químico francés (1807-1853); afirmaba que los componentes orgánicos se reunían en grupos.

46

**Lavoisier, Antoine Laurent:** Químico francés (1743-1794), considerado padre de la química moderna.

25, 26, 31

**Lecoq de Boisbaudran, Paul:** Químico francés (1838-1912), descubridor del galio.

68, 86

**Lenin (Vladimir Ilich Ulianov):** Político ruso (1870-1924), uno de los artífices de la revolución soviética.

23

**ley periódica de los elementos:** Establece que las proporciones de los elementos son una función periódica de sus pesos atómicos.

43, 55, 56, 59, 65, 78, 79, 86, 87

**Liebig, Justus von:** Químico alemán (1803-1873), iniciador de la química agrícola.

45, 48

**líquido:** Estado de la materia intermedio entre sólido y gaseoso.

32

**Lister, Joseph:** Médico inglés (1827-1912), creador del método antiséptico.

53, 54

## **Los Álamos**

92, 93

**Mach, Ernst:** Físico alemán (1838-1916) que determinó la velocidad del sonido.

28

## **Magenta**

44

## **Maggiore**

50

## **Marsella**

37

**Marx, Karl:** Economista y filósofo alemán (1818-1883), fundador del socialismo científico.

39, 55

- masa:** Cantidad de materia de un cuerpo.  
25, 27, 76, 78, 86, 88
- Mayer, Julius Robert:** Físico alemán (1814-1878), que descubrió el primer principio de la termodinámica.  
38
- Mendel, Gregor:** Sabio austriaco (1822-1884), iniciador de la genética.  
53
- Mendeléiev, Dimitri Ivánovich**  
16, 19, 21, 23, 28, 29, 34, 37-41, 43, 45, 48, 50, 52-56, 59, 61, 63-68, 70-72, 78, 89, 97
- Mendeléiev, Elizabeth:** Hermana de Mendeléiev.  
40
- Mendeléiev, Iván Pávlovich:** Padre de Mendeléiev.  
37
- Mendeléiev, Vasili:** Hermano de Mendeléiev.  
40
- mendelevio:** Elemento de símbolo químico Md, llamado así en honor del sabio.  
97
- Menshutkin, N. A.:** Químico ruso.  
64
- Mesina**  
44
- metal:** Elemento que en sus combinaciones químicas siempre pierde electrones.  
- 31, 59, 67, 68, 76, 78, 80, 82, 85
- Meyer, Julius Lothar:** Químico alemán (1830-1895), que descubrió la ley periódica de los elementos al mismo tiempo que Mendeléiev.  
43, 56, 58-61, 65, 66
- Milán**  
37
- Módena**  
37, 44
- molécula:** Parte más pequeña de una sustancia, elemento o compuesto que puede existir en estado libre sin perder su composición.  
27, 33, 36, 46, 48, 77, 78, 87, 91
- Mongolia**  
14
- Moscú**  
21, 23, 39, 40, 71
- Nagasaki**  
92
- Napoleón I:** Emperador francés nacido en 1769 y muerto en 1821.  
18, 25, 30, 37
- Napoleón III:** Emperador de Francia, nacido en 1808 y muerto en 1873.  
44
- Nápoles**  
37, 38, 44, 51

- Neptuno:** Octavo planeta del sistema solar, descubierto en 1846.  
38
- neutrón:** Partícula elemental de carga eléctrica neutra.  
91-94
- Neva, río**  
19
- Newlands, John Alexander Reina:** Químico y músico inglés (1838-1898); ordenó los elementos en octavas, a semejanza de la escala musical.  
55, 56
- Newton, Isaac:** Científico inglés (1642-1727); se lo considera el padre de la física moderna.  
26, 88
- Nicolás I:** Zar de Rusia, nacido en 1796 y muerto en 1855.  
12, 14
- Nicolás II:** Zar de Rusia, nacido en 1868 y muerto en 1918.  
71
- Nikítichna, Feozva:** Esposa de Mendeléiev.  
50, 52
- Nilson, Lars Fredrik:** Químico sueco (1849-1899), descubridor del escandio.  
68, 86
- Niza**  
37, 44
- Nuevo México**  
92
- número atómico:** Número de protones que contiene el núcleo de un átomo.  
93, 94, 97
- número de masa:** Número total de partículas con que cuenta el núcleo de un átomo.  
94
- Odesa**  
23, 41
- Omsk**  
14
- óxido:** Compuesto formado por la unión del oxígeno con otro elemento.  
31, 66, 67, 79, 82, 85, 90
- Pacífico**  
92
- Palermo**  
37
- Paracelso:** Famoso médico y alquimista suizo (1493-1541), que adopta el seudónimo de Teofrastus Bombastus von Hohenheim Paracelso. Se lo considera descubridor del cinc.  
41
- París**  
39, 43

**Parma**

37, 44

**partícula alfa:** Emisión de elementos radiactivos constituida al igual que el núcleo del helio: dos protones y dos neutrones.

93-95, 97

**partícula beta:** Emisión de elementos radiactivos cuya masa y carga corresponden a las del electrón.

92, 93, 97

**Pascal, Blaise:** Filósofo y matemático francés (1623-1662), fundador de la teoría de las probabilidades.

26

**Pasteur, Louis:** Químico y bacteriólogo francés (1822-1895); se lo considera el fundador de la inmunología.

52, 53

**Paviosk**

19

**peso atómico:** Promedio de los pesos relativos de los átomos de un elemento.

27, 28, 32, 33, 36, 48, 50, 52, 55, 56, 58, 61, 62, 64-68, 76, 78-80, 82-88, 93

**peso específico:** Peso de la unidad de volumen de una sustancia.

67, 68, 85, 90

**peso molecular:** Suma de los pesos relativos de todos los átomos que constituyen una molécula.

48

**Piamonte**

44

**Plücker, Julius:** Matemático y físico alemán (1801-1868); hizo estudios acerca de la direccionalidad de las partículas subatómicas.

28

**polonio:** Elemento de símbolo químico Po. Mendeléiev predijo su existencia y lo llamó dbi-telurio.

67, 68

**Port Arthur**

71

**Portugal**

18

**positrón:** Emisión de elementos radiactivos cuya masa corresponde a la del electrón, pero que tiene carga positiva.

97

**protón:** Partícula elemental que tiene carga eléctrica positiva.

92-94, 97

**Prusia**

18, 45, 53

**Radetzky von Radetz, Joseph:** General austriaco (1776-1858), que comandó las tropas contra las que lucharon los independentistas italianos.

39

**radiactividad:** Desintegración espontánea de los núcleos atómicos de ciertos elementos, acompañada de emisión de partículas o de radiaciones.  
71, 95

**radio:** Elemento de símbolo químico Ra. Mendeléiev predijo su existencia y lo llamó dbi-bario.  
67-69

**Rin, río**

47

**Roma**

37, 39

**Rusia**

12, 16, 18-20, 43, 61, 70, 71

**Sadowa**

53

**sal:** Sustancia producto de la sustitución del hidrógeno de un ácido por un metal.

67, 90

**San Gotardo**

50

**San Petersburgo**

11, 12, 14, 19, 21, 23, 40, 41, 48, 50, 52, 53, 61, 64, 70

**Scheelle, Karl Wilhelm:** Químico suizo (1742-1786); participó en el descubrimiento de varios elementos, pero no recibió el reconocimiento correspondiente.

31

**Seaborg, Glenn T.:** Físico norteamericano, nacido en 1912; descubrió varios elementos transuránicos.

93-97

**Siberia**

14-16, 22, 37

**Sicilia**

37-39, 44, 51

**Simferópol**

41

**Solferino**

44

**sólido:** Estado de la materia en el que las moléculas presentan la menor movilidad.

32

**tabla periódica:** Clasificación ordenada de los elementos con base en sus pesos atómicos.

59, 61, 63-65, 67, 70, 76, 79, 82, 84, 93

**tecnecio:** Elemento de símbolo químico Tc. Mendeléiev predijo su existencia y lo llamó eka-manganeso.

67, 68

**Ténarth, Louis Jacques:** Químico francés (1777-1857); junto con Gay-Lussac aisló el boro.

30

**Thompson, S. G.:** Colaborador de Seaborg.

93

**Thomson, Joseph John:** Físico inglés (1856-1940); es uno de los que sientan las bases de la teoría atómica.

28, 71

**TNT:** Abreviatura de trinitrotolueno, sustancia sumamente explosiva.

92

**Tobolsk**

14, 16, 37, 38, 40

**Tolstoi, León:** Novelista ruso (1828-1910); entre sus obras más famosas figura *La guerra y la paz*.

71

**Toscana**

37, 44

**Turín**

36

**Tverskii**

62, 64

**Urales, montes**

- 19

**valencia:** Capacidad de combinación de los elementos.

37, 46, 48

**Varsovia**

21, 43

**Venecia**

37, 39

**Véneto**

44

**Víctor Hugo:** Ilustre escritor francés (1802-1885); entre sus obras más famosas figura *Los miserables*.

39, 44

**Viena**

37

**Volga, río**

19

**Volturmo**

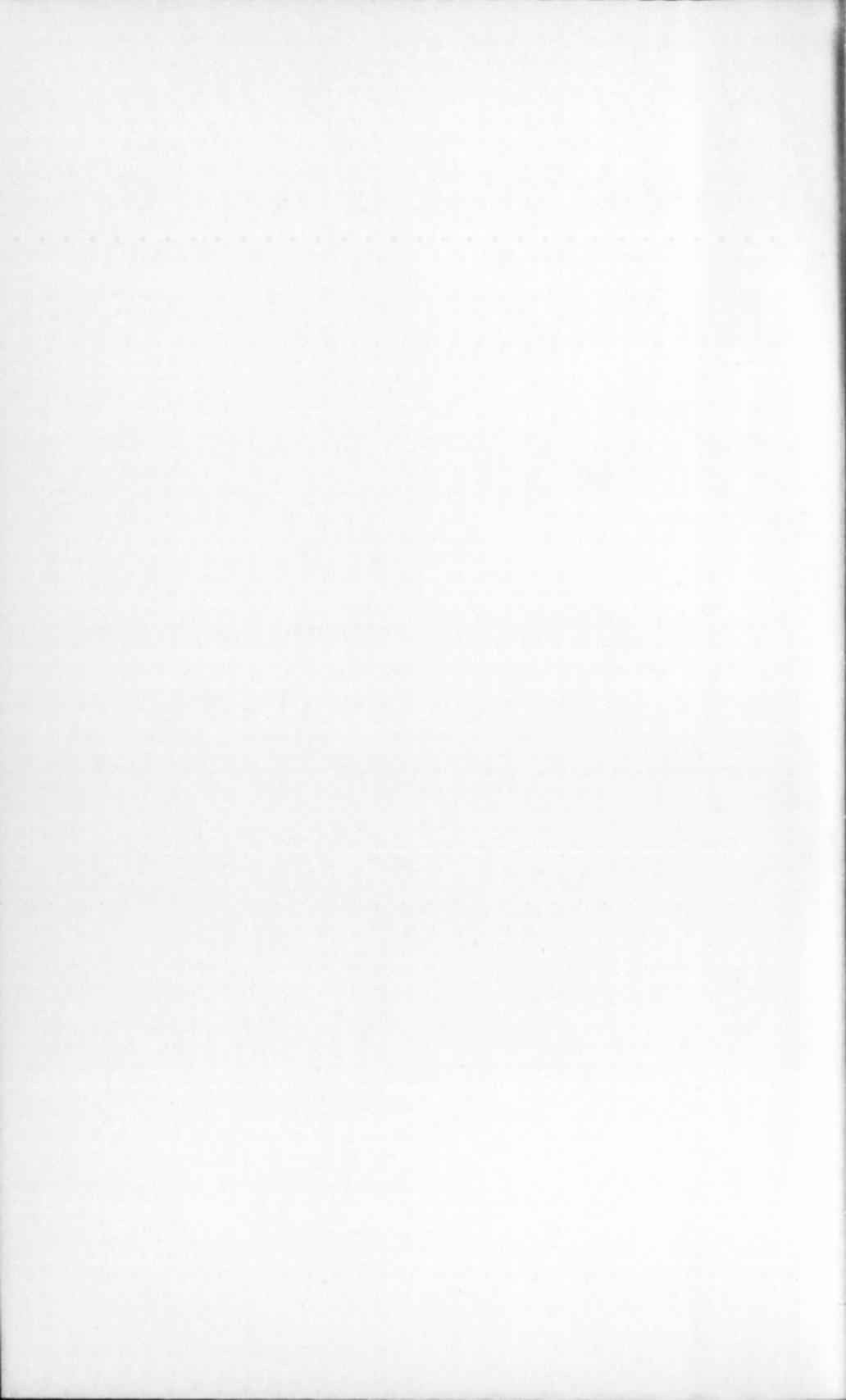
44

**Winkler, Clemens Alexander:** Químico alemán (1838-1904), descubridor del germanio.

68, 86

**Wöhler, Friedrich:** Farmacéutico alemán (1800-1882), que logró cristales puros de una sustancia orgánica, la urea.

33, 34, 48



Esta edición se terminó de imprimir en octubre de 2003.

Publicado por ALFAOMEGA COLOMBIANA S.A.

Calle 106A No. 22-56, Bogotá, Colombia.

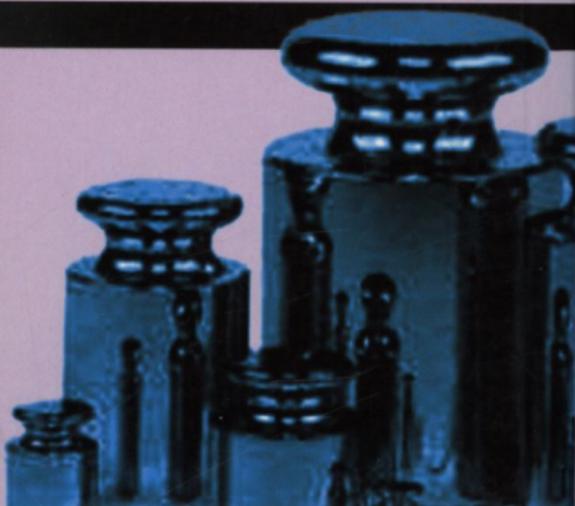
E-mail: [sciente@alfaomega.com.co](mailto:sciente@alfaomega.com.co)

La impresión y encuademación se realizaron en  
Quebecor World Bogotá.



Nadie duda de que la ciencia es importante para el progreso de la humanidad; lo que casi nunca nos dicen es que también es sumamente divertida. La historia de la investigación científica es tan apasionante como una buena novela de misterio o una película de acción.

|    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| 1  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
| H  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
| 3  | 4  |    |    |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
| Li | Be |    |    |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
| 11 | 12 |    |    |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
| Na | Mg |    |    |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  |     |  |  |  |  |  |  |  |
| K  | Ca | Sc | Ti | V   | Cr  | Mn  | Fe  | Co  |     |  |  |  |  |  |  |  |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41  | 42  | 43  | 44  | 45  |     |  |  |  |  |  |  |  |
| Rb | Sr | Y  | Zr | Nb  | Mo  | Tc  | Ru  | Rh  |     |  |  |  |  |  |  |  |
| 55 | 56 |    |    | 72  | 73  | 74  | 75  | 76  | 77  |  |  |  |  |  |  |  |
| Cs | Ba |    |    | Hf  | Ta  | W   | Re  | Os  | Ir  |  |  |  |  |  |  |  |
| 87 | 88 |    |    | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 |  |  |  |  |  |  |  |
| Fr | Ra |    |    | Rf  | Ha  | Sg  | Ns  | Hs  | Mt  |  |  |  |  |  |  |  |
|    |    | 57 | 58 | 59  | 60  | 61  | 62  |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
|    |    | La | Ce | Pr  | Nd  | Pm  | Sm  |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
|    |    | 89 | 90 | 91  | 92  | 93  | 94  |     |     |  |  |  |  |  |  |  |
|    |    | Ac | Th | Pa  | U   | Np  | Pu  |     |     |  |  |  |  |  |  |  |



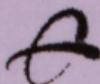
En este libro damos a conocer la historia y la obra de Dimitri Mendeléiev, el químico genial que no sólo logró poner orden entonces confuso de los elementos naturales conocidos en su época, sino que, como un verdadero profeta, pronosticó el posterior descubrimiento de otros.

Queremos que niños y jóvenes puedan acercarse a la obra Fundamental de Mendeléiev, fundamentos de química; para eso seleccionamos los fragmentos más importantes y los volcamos en un lenguaje claro y comprensible. Ojalá se diviertan todos al leer este libro tanto como nosotros al publicarlo.

ISBN 958-682-508-6



9789586825085



COLCIENCIAS



Alfaomega