

## CUESTIONES ELEMENTALES

Suele decirse que la química como ciencia seria y respetable se inicia a partir de 1661, cuando Robert Boyle, de Oxford, publicó *El químico escéptico* (la primera obra que distingue entre químicos y alquimistas). Fue una transición lenta y errática. En el siglo xviii, los estudiosos eran capaces de sentirse extrañamente cómodos en ambos campos, como, por ejemplo, el alemán Johann Becher, que escribió una obra sobria y anodina sobre mineralogía titulada *Physica Subterranea* [Física subterránea], pero que estaba convencido también de que, con los materiales adecuados, podía hacerse invisible.'

Quizá no haya nada que ejemplifique mejor la naturaleza extraña, y con frecuencia accidental, de la ciencia química en sus primeros tiempos que un descubrimiento que hizo un alemán llamado Hennig Brand en 1675. Brand se convenció de que podía

destilarse oro de la orina humana. (Parece ser que la similitud de colorido fue un factor que influyó en esa conclusión.) Reunió 50 cubos de orina humana y los tuvo varios meses en el sótano de su casa. Mediante diversos procesos misteriosos convirtió esa orina primero en una pasta tóxica y luego en una sustancia cérea y translúcida. Nada de eso produjo oro, claro está, pero sucedió una cosa extraña e interesante. Al cabo de un tiempo, la sustancia empezó a brillar. Además, al exponerla al aire, rompía a arder en llamas espontáneamente con bastante frecuencia.

Las posibilidades comerciales del nuevo material (que pronto pasó a

llamarse fósforo, de las raíces latina y griega que significan «portador de

luz») no les pasaron desapercibidas a negociantes codiciosos, pero las

dificultades de la manufactura del fósforo lo hacían demasiado costoso

para que pudiera explotarse. Una onza de fósforo se vendía por 6 gui-

neas' (unos 440 euros en dinero de hoy), es decir, costaba más que el oro.

Al principio se recurrió a los soldados para que proporcionaran la

materia prima, pero eso no favorecía en modo alguno la producción a escala industrial. En la década de 1750, un químico sueco llamado Karl (o Carl) Scheele ideó un medio de fabricar fósforo en grandes cantidades sin la porquería del olor a orina. Por su maestría en la manufactura del fósforo los suecos se convirtieron en destacados fabricantes de cerillas, y aún lo siguen siendo.

Scheele fue al mismo tiempo un tipo extraordinario y extraordinariamente desafortunado. Era un humilde farmacéutico que apenas disponía de instrumental avanzado, pero descubrió ocho elementos (cloro, flúor, manganeso, bario, molibdeno, tungsteno, nitrógeno y oxígeno) y no se le llegó a honrar por ninguno de ellos.<sup>3</sup> Sus descubrimientos fueron, en todos los casos, bien pasados por alto o bien consiguió publicarlos después de que algún otro hubiese hecho ya ese mismo descubrimiento independientemente. Descubrió también muchos compuestos

útiles, entre ellos, el amoníaco, la glicerina y el ácido tánico, y fue el primero que se dio cuenta de las posibilidades comerciales del cloro como blanqueador..., descubrimientos que hicieron a otras personas extraordinariamente ricas.

Uno de los defectos notorios de Scheele era su extraña insistencia en probar un poco de todo aquello con lo que trabajaba, incluidas sustancias tan evidentemente desagradables como el mercurio, el ácido prúsico (otro de sus descubrimientos) y el ácido cianhídrico (un compuesto con tanta fama de venenoso que, 150 años después, Erwin Schrödinger lo eligió como su toxina favorita en un famoso experimento mental (véase página 146). Esa imprudencia de Scheele acabó pasándole factura. En 1786, cuando tenía sólo cuarenta y tres años, le encontraron muerto en su banco de trabajo, rodeado de una colección de sustancias químicas tóxicas, cualquiera de las cuales podría haber sido la causa de la expresión petrificada y ausente de su rostro.

Si el mundo fuese justo y suecoparlante, Scheele habría gozado de fama universal. Pero, siendo las cosas como son, los aplausos han tendido a ser para

químicos más célebres, mayoritariamente del mundo de habla inglesa. Aunque Scheele descubrió el oxígeno en 1772., por varias razones descorazonadoramente complicadas no pudo conseguir que su artículo se publicara a tiempo. Así que los honores del descubrimiento se otorgarían a John Priestley, que descubrió el mismo elemento independientemente, aunque más tarde, en el verano de 1774. Más notable fue que no se atribuyese a Scheele el descubrimiento del cloro. Los libros de texto aún siguen casi todos atribuyéndoselo a Humphry Davy, que lo halló sin duda, pero *treinta y seis* años después que Scheele.

Aunque la química había recorrido mucho camino en el siglo que separaba a Newton y Boyle de Scheele, Priestley y Henry Cavendish, todavía le quedaba mucho camino por recorrer. Hasta los últimos años del siglo xviii (y en el caso de Priestley un poco después), los científicos buscaban en todas partes y a veces creían realmente haber encontrado cosas que simplemente no estaban allí: aires viciados, ácidos marinos desflogisticados, flog, calx, exhalaciones terráneas y, sobre todo, flogisto, la

sustancia que se consideraba el agente activo de la combustión. También se creía que en alguna parte de todo esto residía un misterioso *elan vital*, la fuerza que hacía que objetos inanimados aflorasen a la vida. Nadie sabía dónde se hallaba esa esencia etérea, pero dos cosas parecían probables: que pudieses vivificarla con una descarga eléctrica -una idea que explotó plenamente Mary Shelley en su novela *Frankenstein*- y que existiese en unas sustancias pero no en otras, que es la razón de que acabáramos teniendo dos ramas en la química:<sup>4</sup> orgánica (para las sustancias que consideramos que la tienen) e inorgánica (para las que no).

Hacía falta alguien con una inteligencia penetrante para introducir la química en la edad moderna, y fue Francia quien lo proporcionó. Se llamaba Antoine-Laurent Lavoisier. Nacido en 1743, era miembro de la baja nobleza -su padre había comprado un título para la familia-. En 1768 adquirió una participación activa en una institución profundamente despreciada, la Ferme Générale (o granja general), que recaudaba impuestos y tasas en nombre del Estado. Aunque el propio Lavoisier era en todos los sentidos

amable y justo, la empresa para la que trabajaba no era ninguna de esas dos cosas. Por una parte, no gravaba a los ricos sino sólo a los pobres, y a éstos a menudo arbitrariamente. Para Lavoisier el atractivo de la institución era que le proporcionaba la riqueza necesaria para seguir su principal vocación, la ciencia. Sus ganancias personales alcanzaron en su periodo culminante la cifra de 150.000 libras al año... unos 18 millones de euros.<sup>5</sup>

Tres años después de embarcarse en esta lucrativa actividad profesional, se casó con la hija de catorce años de uno de sus jefes.<sup>6</sup> El matrimonio fue un encuentro de corazones y de mentes. La señora Lavoisier poseía una inteligencia arrolladora y no tardaría en trabajar productivamente al lado de su marido. A pesar de las exigencias del trabajo de él y de una activa vida social, conseguían, la mayoría de los días, dedicar cinco horas a la ciencia (dos por la mañana temprano y tres al final de la jornada), así como todo el domingo, que ellos llamaban su *jour de bonheur*<sup>7</sup> (día de la felicidad). No sabemos cómo Lavoisier se las arregló también para desempeñar el cargo de comisionado de la pólvora, supervisar la

construcción de una muralla alrededor de París que impidiera el contrabando, ayudar a elaborar el sistema métrico y ser coautor del manual *Método de nomenclatura química*, que se convirtió en guía normativa para los nombres de los elementos.

Como miembro destacado que era también de la Real Academia de Ciencias, le pidieron que se tomase un interés activo e informado por todos los temas de actualidad: el hipnotismo, la reforma de las prisiones, la respiración de los insectos, el suministro de agua a París... En el desempeño de esa función hizo, en 1780, ciertos comentarios despectivos<sup>8</sup> sobre una nueva teoría de la combustión que había sido sometida a la academia por un científico joven y prometedor. La teoría era ciertamente errónea, pero el nuevo científico nunca se lo perdonó. Se llamaba Jean-Paul Marat.

Lo único que nunca llegó a hacer Lavoisier fue descubrir<sup>9</sup> un elemento. En una época en que parecía que casi cualquiera que tuviese a mano un vaso de precipitados, una llama y unos polvos interesantes podía descubrir algo nuevo -y cuando, no por casualidad, unos dos tercios de los elementos aún

estaban por descubrir-, Lavoisier no consiguió descubrir ni uno solo. No fue por falta de vasos de precipitados, desde luego. Tenía 1.300 en lo que era, hasta un grado casi ridículo, el mejor laboratorio privado que existía.

En vez de descubrir él, se hizo cargo de los descubrimientos de otros y les dio sentido. Arrojó al basurero el flogisto y los aires mefíticos. Identificó el oxígeno y el hidrógeno como lo que eran y les dio a los dos sus nombres modernos. Ayudó a introducir rigor, claridad y método en la química.

Y su fantástico instrumental resultó verdaderamente muy útil. La señora Lavoisier y él se entregaron durante años a estudios que exigían muchísimo de ellos y que requerían de mediciones muy precisas. Demostraron, por ejemplo, que un objeto oxidado no pierde peso, como todo el mundo suponía desde hacía mucho, sino que lo ganaba; un descubrimiento extraordinario. El objeto atraía de algún modo al oxidarse partículas elementales del aire. Fue la primera vez que se comprendió que la materia se puede transformar, pero no eliminar. Si quemases ahora este libro, su materia se convertiría en ceniza y

humo, pero la cantidad de materia en el universo sería la misma. Esto acabaría conociéndose como la conservación de la masa, y fue un concepto revolucionario. Coincidió, por desgracia, con otro tipo de revolución, la francesa, y en ésta Lavoisier estaba en el bando equivocado.

No sólo era miembro de la odiada Ferme Générale, sino que había participado con gran entusiasmo en la construcción de la muralla que rodeaba París... una obra tan detestada que fue lo primero que se lanzaron a destruir los ciudadanos sublevados. Aprovechando esto, Marat, que se había convertido en una de las voces destacadas de la Asamblea Nacional, denunció en 1791 a Lavoisier, indicando que hacía ya tiempo que se le debería haber ejecutado. Poco después se clausuró la Ferme Générale. No mucho después, Marat fue asesinado en la bañera por una joven agraviada llamada Charlotte Corday, pero era demasiado tarde para Lavoisier.

En 1793 el reino del terror, intenso ya, alcanzó una intensidad aún mayor. En octubre fue enviada a la guillotina María Antonieta. Al mes siguiente, cuando Lavoisier hacía con su esposa planes tardíos para

escapar a Escocia, fue detenido. En mayo, 31 colegas suyos de la Ferme Générale comparecieron con él ante el Tribunal Revolucionario (en una sala de juicios presidida por un busto de Marat). A ocho de ellos se les concedió la absolución, pero Lavoisier y todos los demás fueron conducidos directamente a la Place de la Revolution (hoy Plaza de la Concordia), sede de la más activa de las guillotinas francesas. Lavoisier presenció cómo era guillotinado su suegro, luego subió al cadalso y aceptó su destino. Menos de tres meses después, el 27 de julio, era despachado del mismo modo y en el mismo lugar el propio Robespierre. Así ponía fin rápidamente al reino del terror.

Un centenar de años después de su muerte, se erigió en París una estatua de Lavoisier que fue muy admirada hasta que alguien indicó que no se parecía nada a él. Se interrogó al escultor, que acabó confesando que había utilizado la cabeza del marqués de Condorcet, matemático y filósofo -tenía al parecer un duplicado-, con la esperanza de que nadie lo advirtiese o que, si alguien lo advertía, le diese igual. Al final acertó, porque se permitió que la

estatua de Lavoisier y Condorcet siguiese en su lugar otro medio siglo, hasta la Segunda Guerra Mundial, en que la retiraron una mañana y la fundieron para chatarra.' °

A principios de la década de 1800 surgió en Inglaterra la moda de inhalar óxido nitroso, o gas de la risa, después de que se descubriese que su uso «provocaba una excitación sumamente placentera». <sup>11</sup> Durante el medio siglo siguiente sería la droga favorita de los jóvenes. Una docta institución, la Sociedad Askesiana, se dedicó durante un tiempo a poco más. Los teatros organizaban «veladas de gas de la risa»<sup>12</sup> en las que los voluntarios podían reconfortarse con una vigorosa inhalación y divertirse luego al público con sus cómicos tambaleos.

Hasta 1846 no apareció nadie que descubriese un uso práctico del óxido nitroso como anestésico. Quién sabe cuántas decenas de miles de personas padecieron calvarios innecesarios bajo la cuchilla del cirujano porque a nadie se le había ocurrido la aplicación práctica más evidente de ese gas.

Menciono esto para indicar que la química, que había avanzado tanto en el siglo xviii, pareció per-

der la brújula durante las primeras décadas del siglo xix, de una forma muy parecida a lo que sucedería con la geología en los primeros años del siglo xx. Esto se debió en parte a las limitaciones del instrumental (no hubo, por ejemplo, centrifugadores hasta la segunda mitad del siglo, lo que limitó notoriamente muchos tipos de experimentos)

y en parte a causas sociales. La química era, salvando excepciones, una ciencia para hombres de negocios, para los que trabajaban con el carbón, la potasa y los tintes, y no para caballeros quienes se sentían atraídos por la geología, la historia natural y la física. (Esto era un poco menos frecuente en la Europa continental que en Inglaterra.) Resulta revelador que una de las observaciones más importantes del siglo, el movimiento browniano, que demostró la naturaleza activa de las moléculas, no la hiciese un químico sino un botánico escocés, Robert Brown. (Lo que observó Brown<sup>13</sup> en 1827 fue que pequeños granos de polen suspendidos en agua se mantenían indefinidamente en movimiento, por mucho tiempo que se los dejase reposar. La causa de este movimiento perpetuo, es decir, las acciones

de moléculas invisibles, permaneció mucho tiempo en el misterio.)

Podrían haber ido peor las cosas si no hubiese sido por un personaje espléndido e inverosímil, el conde Von Rumford, que, a pesar de la prosapia de su título, inició su vida en Woburn, Massachusetts, en 1753, simplemente como Benjamin Thompson. Thompson era apuesto y ambicioso, «agraciado de rostro y de talle», valeroso a veces y excepcionalmente inteligente, pero inmune a algo tan poco práctico como los escrúpulos. A los diecinueve años se casó con una viuda rica catorce años mayor que él, pero al estallar la revolución en las colonias se puso imprudentemente del lado de los leales a la metrópoli, espiando durante un tiempo para ellos. En el año fatídico de 1776, ante el peligro de que le detuviesen «por tibieza en la causa de la libertad», abandonó a su mujer y a su hijo y huyó perseguido por una multitud de revolucionarios armados con cubos de alquitrán, sacos de plumas y un ardiente deseo de adornarle con ambas cosas.

Se trasladó primero a Inglaterra y luego a Alemania, donde sirvió como asesor militar del Gobierno

de Baviera, impresionando tanto a las autoridades de allí que en 1791 le nombraron conde Von Rumford del Sacro Imperio romano-germánico. Durante su estancia en Múnich diseñó también y dirigió la construcción del famoso parque conocido como el Jardín Inglés.

Entre estas diversas tareas, halló tiempo para realizar bastantes trabajos científicos sólidos. Se convirtió en la máxima autoridad mundial en termodinámica y fue el primero que determinó los principios de la convección de fluidos y la circulación de las corrientes marinas. Inventó también varios objetos útiles, entre ellos una cafetera de goteo, ropa interior térmica y un tipo de cocina que aún se conoce por su nombre. En 1805, durante una temporada que pasó en Francia, cortejó a la señora Lavoisier, viuda de Antoine Laurent, y acabó casándose con ella. El matrimonio no tuvo éxito y no tardaron en separarse. Rumford siguió en Francia donde murió en 1814, universalmente estimado por todos salvo por sus antiguas esposas.

La razón de que le mencionemos aquí es que en 1799, durante un intermedio relativamente breve en

Londres, fundó la Institución Real, otra más de las muchas sociedades científicas que surgieron por toda Inglaterra a finales del siglo xviii y principios del xix. Durante un tiempo fue casi la única sociedad científica de talla que fomentó activamente la joven ciencia de la química, y eso fue gracias casi enteramente a un joven brillante llamado Humphry Davy, quien fue nombrado profesor de química de la institución poco después de su fundación, no tardando en hacerse famoso como destacado conferenciante y fecundo experimentalista.

Poco después de tomar posesión de su cargo, empezó a descubrir nuevos elementos, uno detrás de otro: potasio, sodio, magnesio, calcio, estroncio y aluminio." No por ser sumamente bueno para las series descubrió tantos elementos, sino porque ideó una ingeniosa técnica de aplicación de la electricidad a una sustancia fundida que se conoce con el nombre de electrolisis. Descubrió una docena de elementos, una quinta parte del total de los conocidos en su época. Podría haber hecho mucho más, pero desgraciadamente había desarrollado durante la juventud una afición irrevocable a los alegres place-

res del ácido nitroso. Llegó a estar tan habituado al gas que recurría a su inspiración (literalmente) tres o cuatro veces al día. Se cree que ésta fue la causa de su muerte en 1829.

Había, por suerte, gente más sobria trabajando en otros sitios. En 1808 un adusto cuáquero llamado John Dalton se convirtió en la primera persona que predijo la naturaleza del átomo (una cuestión que se analizará con mayor detalle más adelante) y, en 1811, un italiano con el espléndido nombre operístico de Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro, conde de Quarequa y Cerreto, hizo un descubrimiento que resultaría enormemente significativo a largo plazo: dos volúmenes iguales de gases, sean del tipo que sean, si se mantiene invariable la presión y la temperatura, contendrán igual número de moléculas.

Había dos cosas notables en el Principio de Avogadro (como se denominó) tan atractivamente simple. Primero, proporcionaba una base para una medición más precisa del tamaño y el peso de los átomos. Utilizando los cálculos de Avogadro los químicos podían llegar a descubrir, por ejem-

" En inglés hay una doble grafía del término (*aluminum* / *aluminium*) debida a cierta indecisión característica de Davy. Cuando aisló el elemento por primera vez en 1808, le llamó *aluminium*. Por alguna razón se lo pensó mejor y, cuatro años después, lo cambió por *aluminum*. Los estadounidenses adoptaron diligentemente el nuevo término, pero a muchos ingleses no les gustó *aluminum*, porque decían que incumplía la regla del *-ium* establecida por el sodio (*sodium*), el calcio (*calcium*) y el estroncio (*strontium*), así que añadieron una vocal y una sílaba. Entre los otros éxitos de Davy figura la invención del casco de seguridad de minero. (*N. del A.*)

plo, que un átomo característico tenía un diámetro de 0,00000008 centímetros,<sup>15</sup> que es realmente muy poco. La segunda cosa notable fue que casi nadie se enteró de ello durante casi cincuenta años.\*

Esto se debió en parte a que el propio Avogadro era un individuo retraído (trabajaba solo, mantenía muy poca correspondencia con otros científicos, publicó pocos artículos y no asistía a congresos ni reuniones de científicos), pero también se debió a que no había reuniones a las que asistir y pocas

revistas químicas en las que publicar. Se trata de un hecho bastante extraordinario. La revolución industrial progresaba impulsada en gran parte por avances de la química y, sin embargo, la química como ciencia organizada apenas si existió durante varias décadas.

La Sociedad Química de Londres no se fundó hasta 1841 y no empezó a publicar una revista regular hasta 1848, fecha en la que la mayoría de las sociedades científicas de Inglaterra (la Geológica, la Geográfica, la Zoológica, la de Horticultura y la Linneana, para naturalistas y botánicos) tenía un mínimo de veinte años de antigüedad y, en algunos casos, muchos más. El Instituto de Química rival no se creó hasta 1877, un año después de la fundación *de* la Sociedad Química Estadounidense. Como la química se organizó con tanta lentitud, la noticia del importante descubrimiento de Avogadro de 1811 no empezó a hacerse general hasta el primer congreso internacional de química, que se celebró en Karlsruhe en 1860.

Como los químicos estuvieron tanto tiempo en esas condiciones de aislamiento, tardaron en organizarse

congresos. Hasta bien entrada la segunda mitad del siglo, la fórmula  $H_2O$ , podía significar agua para un químico y peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) para otro.  $C_2H_4$  podía significar etileno o gas de los pantanos (metano). Apenas si había una molécula que estuviese representada de un modo uniforme en todas partes.

Los químicos utilizaban también una variedad desconcertante de símbolos y abreviaturas, y era frecuente que cada uno inventase las suyas. El sueco J. J. Berzelius introdujo un nivel muy necesario de orden en

\* El principio condujo a la adopción muy posterior del número de Avogadro, una unidad básica de medición en química, que recibió el nombre de Avogadro mucho después de la muerte de éste. Es el número de moléculas que contienen 2,016 gramos de gas hidrógeno (o un volumen igual de cualquier otro gas). Su valor se calcula en  $6,0221367 \times 10^{23}$ , que es un número enormemente grande. Los estudiantes de química se han entretenido durante mucho tiempo en calcular lo grande que puede llegar a ser exactamente, así que puedo informar de que es equiva-

lente al número de panojas de maíz necesarias para cubrir Estados Unidos hasta una altura de 1,5 kilómetros, de tazas de agua necesarias para vaciar el océano Pacífico o de latas de refrescos necesarias para cubrir la Tierra, cuidadosamente apiladas, hasta una altura de 3 2.0 kilómetros. Un número equivalente de centavos estadounidenses bastaría para hacer a cada uno de los habitantes del planeta billonarios en dólares. Es un número grande. (*N. del A.*)

las cosas al decidir que había que abreviar los elementos basándose en sus nombres griegos o latinos, que es la razón de que la abreviatura del hierro sea Fe (del latín *ferrum*) y la de la plata sea Ag (del latín *argentum*). Que tantas otras abreviaturas se ajusten a sus nombres ingleses (N para el nitrógeno, O para el oxígeno, H para el hidrógeno, etcétera) se debe al carácter latino del inglés, no a su condición excelsa. Para indicar el número de átomos de una molécula, Berzelius empleó un superíndice numérico, como en H<sub>2</sub>O. Más tarde, sin que mediara ninguna razón especial, 1<sup>6</sup> se puso de moda utilizar en vez de un superíndice numérico un subíndice: H<sub>2</sub>O.

A pesar de las ordenaciones esporádicas, la química era en la segunda mitad del siglo XIX un galimatías, por eso, en 1896, complació tanto a todo el mundo la aportación de un extraño profesor con cara de loco de la Universidad de San Petersburgo llamado Dimitri Ivanovich Mendeleev.

Mendeleev (también llamado por algunos Mendeleev o Mendeléef) nació en 1834 en Tobolsk, en el lejano oeste de Siberia, en una familia culta, razonablemente próspera y muy grande... tan grande, en realidad, que la historia ha perdido la pista de exactamente cuántos Mendeleev hubo: unas fuentes dicen que eran catorce, otras que diecisiete. Todas están de acuerdo, al menos, en que Dimitri era el más joven.

La suerte no favoreció siempre a los Mendeleev.<sup>17</sup> Cuando Dimitri era pequeño su padre, director de una escuela de la localidad, se quedó ciego y su madre tuvo que ponerse a trabajar. Era, sin duda alguna, una mujer extraordinaria, ya que acabó convirtiéndose en directora de una próspera fábrica de cristal. Todo iba bien hasta que en 1848 un incendio destruyó la fábrica y la familia se vio reducida a la

miseria. Decidida a conseguir que su hijo más pequeño estudiase una carrera, la indomable señora Mendelejev recorrió en autoestop, con el joven Dimitri, los más de 6. 000 kilómetros que había hasta San Petersburgo (lo que equivale a viajar desde Londres a la Guinea Ecuatorial), donde le depositó en el Instituto de Pedagogía. Agotada por tan tremendo esfuerzo, murió poco después.

Mendelejev terminó diligentemente sus estudios y acabó consiguiendo un puesto en la universidad local. Era allí un químico competente pero que no destacaba demasiado," al que se conocía más por la barba y el pelo enmarañado, los cuales sólo se cortaba una vez al año, que por sus dotes en el laboratorio.

Sin embargo, en 1869, cuando tenía treinta y cinco años, empezó a darle vueltas a la idea de encontrar una forma de ordenar los elementos. Por entonces, los elementos se agrupaban de dos maneras: bien por el peso atómico (valiéndose del Principio de Avogadro), bien por propiedades comunes (si eran metales o gases, por ejemplo). Mendelejev se dio

cuenta de que podían combinarse las dos cosas en una sola tabla.

Como suele suceder en la ciencia, el principio lo había anticipado ya tres años atrás un químico aficionado inglés llamado John Newlands. Éste había comentado que, cuando se ordenaban los elementos por el peso, parecían repetirse ciertas propiedades (armonizarse en cierto modo) en cada octavo lugar a lo largo de la escala. Newlands, un poco imprudentemente, pues se trataba de una ocurrencia cuyo momento no había llegado aún,<sup>9</sup> llamó a esta idea la Ley de los Octavos y comparó la disposición de los octavos a la del teclado de un piano. Tal vez hubiese algo raro en la forma de presentación de Newlands, porque el caso es que se consideró la idea fundamentalmente ridícula y se hicieron muchas bromas a su costa. En las reuniones, los miembros más graciosos del público a veces le preguntaban si podía conseguir que sus elementos les tocasen una pequeña melodía. Newlands, descorazonado, dejó de proponer la idea y no tardó en perderse de vista.

Mendeleyev utilizó un enfoque algo distinto, distribuyendo los elementos en grupos de siete, pero empleó básicamente la misma premisa. De pronto la idea pareció inteligente y maravillosamente perspicaz. Como las propiedades se repetían periódicamente, el invento pasó a conocerse como la Tabla Periódica.

Se dice que a Mendeleyev le inspiró ese juego de cartas que se llama solitario, en que las cartas se ordenan horizontalmente por el palo y verticalmente por el número. Utilizando un concepto similar en líneas generales, dispuso los elementos en hileras horizontales llamadas periodos y en columnas verticales llamadas grupos. Esto mostraba inmediatamente un conjunto de relaciones cuando se leían de arriba abajo y otro cuando se hacía de lado a lado. Las columnas verticales agrupaban en concreto sustancias químicas que tenían propiedades similares. Así, el cobre está encima de la plata y la plata encima del oro por sus afinidades químicas como metales, mientras que el helio, el neón y el argón están en una columna compuesta por gases. (El determinante concreto y oficial de la ordenación es algo que

se llama las valencias electrónicas y si quieres entender lo que son tendrás que apuntarte a clases nocturnas.) Las hileras horizontales, por otra parte, disponen las sustancias químicas por orden ascendente según el número de protones de sus núcleos, que es lo que se conoce como su número atómico.

La estructura de los átomos y lo que significan los protones se tratarán en el capítulo siguiente; de momento, lo único que hace falta es apreciar el principio organizador: el hidrógeno tiene sólo un protón, por lo que su número atómico es 1 y ocupa el primer puesto de la tabla; el uranio tiene 92 protones y, por eso, figura casi al final y su número atómico es 92. En este sentido, como ha señalado Philip Ball, la química es en realidad sólo cuestión de contar. /° (Por cierto, no debe confundirse el número atómico

con el peso atómico, que es el número de protones más el número de neutrones de un elemento determinado.)

Había aún mucho que no se sabía ni se comprendía. El hidrógeno es el elemento que más abunda en el universo y, sin embargo, nadie llegaría a sospe-

charlo en otros treinta años. El helio, que ocupa el segundo lugar por su abundancia, no se había descubierto hasta un año antes -ni siquiera se había sospechado su existencia-, y no en la Tierra sino en el Sol, donde se localizó con un espectroscopio durante un eclipse solar, que es la razón de que se honre con su nombre al dios sol Helios. No se aislaría hasta 1895. Incluso así, gracias al invento de Mendeleev, la química pisaba ya terreno firme.

Para la mayoría de nosotros, la Tabla Periódica es algo bello en abstracto, pero para los químicos introdujo una claridad y un orden de incalculable valor. «La Tabla Periódica de los Elementos Químicos es, sin duda, el cuadro organizativo más elegante que se haya inventado jamás », <sup>21</sup> escribió Robert E. Krebs en *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements* [Historia y uso de los elementos químicos de la Tierra], y pueden hallarse comentarios similares en casi todas las historias de la química que se han publicado.

El número de elementos que conocemos hoy es de «unos ciento veinte». <sup>22</sup> Hay noventa y dos que aparecen en la naturaleza más un par de docenas que

han sido creados en laboratorios. El número exacto es un poco polémico porque los elementos pesados sintetizados sólo existen millonésimas de segundo, y los químicos discuten a veces sobre si se han detectado realmente o no. En tiempos de Mendeleev, sólo se conocían 63 elementos, pero parte de su mérito fue darse cuenta de que los elementos tal como se conocían entonces no constituían un cuadro completo, pues faltaban muchas piezas. Su tabla predijo, con agradable exactitud, dónde encajarían los nuevos elementos cuando se hallasen.

Nadie sabe, por otra parte, hasta dónde podría llegar el número de elementos, aunque todo lo situado por encima de 168 como peso atómico se considera «puramente especulativo»;<sup>23</sup> pero lo que es seguro es que todo lo que se encuentre encajará limpiamente en el gran esquema de Mendeleev.

El siglo xix guardaba una última sorpresa importante para los químicos. Todo empezó en París, en 1896, cuando Henri Becquerel dejó des<sup>p</sup>reocupadamente un paquete de sales de uranio en un cajón, encima de una placa fotográfica enrollada. Cuando

sacó la placa algún tiempo después, se quedó sorprendido al ver que las sales habían dejado una impresión en ella, exactamente igual que si la placa se hubiese expuesto a la luz. Las sales emitían algún tipo de rayos.

Becquerel, dándose cuenta de la importancia de lo que había descubierto, hizo una cosa extraña: trasladó el problema a una estudiante gra-

TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra			Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uu	Uuu	Uub						
LANTANIDOS		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
ACTINIDOS		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

duada para que lo investigase. Afortunadamente esa estudiante era una polaca recién emigrada llamada Marie Curie. Marie descubrió, trabajando con su nuevo marido Pierre, que ciertos tipos de piedras desprendían unas cantidades extraordinarias y cons-

tantes de energía, pero sin disminuir de tamaño ni modificarse de forma apreciable. Lo que ni ella ni su marido podían saber -lo que nadie podía saber hasta que Einstein explicase las cosas en la década siguiente- era que aquellas piedras estaban transformando la masa en energía con una eficacia excepcional. Marie Curie denominó a este fenómeno «radiactividad».<sup>24</sup> Durante estos trabajos, los Curie descubrieron también dos nuevos elementos: el polonio, que llamaron así por su país natal, y el radio. Becquerel y los Curie fueron galardonados conjuntamente con el premio Nobel de Física en 1903. (Marie Curie ganaría un segundo Nobel, de Química, en 1911; es la única persona que ha obtenido los dos, el de Física y el de Química.)

El joven neozelandés Ernest Rutherford, por entonces profesor de física en la Universidad McGill de Montreal, empezó a interesarse por los nuevos materiales radiactivos. Y descubrió, trabajando con un colega llamado Frederick Soddy, que había encerradas inmensas reservas de energía en aquellas pequeñas cantidades de materia, y que la desintegración radiactiva de aquellas reservas podía expli-

car la mayor parte del calor de la Tierra. Descubrieron también que los elementos radiactivos se desintegraban en otros elementos: un día tenías, por ejemplo, un átomo de uranio y al siguiente tenías un átomo de plomo. Esto era verdaderamente extraordinario. Era pura y simple alquimia; nadie había imaginado jamás que pudiese pasar tal cosa de una forma natural y espontánea.

Rutherford, siempre pragmático, fue el primero que comprendió que aquello podría tener una aplicación práctica. Se dio cuenta de que en todas las muestras de material radiactivo siempre tardaba el mismo tiempo en desintegrarse la mitad de la muestra (la célebre vida media)\* y que

\* Si te has preguntado alguna vez cómo determinan los átomos qué 50 % morirá y qué 50 % sobrevivirá para la sesión siguiente, la respuesta es que lo de la vida media no es en realidad más que una convención estadística, una especie de tabla actuarial para cosas elementales. Imagina que tuvieses una muestra de material con una vida media de 3 o segundos. No se trata de que cada átomo de la muestra exista exactamente durante 30 segundos, 60, 90 o

algún otro periodo limpiamente definido. Todos los átomos sobrevivirán en realidad durante toda una extensión de tiempo totalmente al azar que nada tiene que ver con múltiplos de 30; podría durar incluso dos segundos a partir de ahora o podría ir fluctuando durante años, décadas o siglos futuros. Nadie puede saberlo. Pero lo que podemos saber es que, para la muestra en su conjunto, la tasa de desintegración será tal que la mitad de los átomos desaparecerán cada 30 segundos. Es decir, es una tasa media, y se puede aplicar a cualquier muestra grande. Alguien calculó una vez, por ejemplo, que las monedas estadounidenses de 10 centavos tenían una vida media de unos 30 años. (*N. del A.*)

esa tasa firme y segura de desintegración se podía utilizar como una especie de reloj. Calculando hacia atrás cuánta radiación tenía un material en el presente y con qué rapidez se estaba desintegrando, podías determinar su edad. Así que examinó una muestra de pechblenda, la principal mena de uranio, y descubrió que tenía 700 millones de años de antigüedad, que era mucho más vieja que la edad que la mayoría de la gente estaba dispuesta a conceder a la Tierra.

En la primavera de 1904 Rutherford viajó a Londres para dar una conferencia en la Institución Real, la augusta organización fundada por *el* conde Von Rumford sólo 105 años antes, aunque aquellos tiempos de pelucas empolvadas pareciesen ya a un eón de distancia comparados con la robustez despreocupada de los victorianos tardíos. Rutherford estaba allí para hablar sobre su nueva teoría de la desintegración de la radiactividad, y enseñó como parte de su exposición su muestra de pechblenda. Comentó, con tacto -pues estaba presente, aunque no siempre del todo despierto, el anciano Kelvin-, que el propio Kelvin había dicho que el descubrimiento de otra fuente de calor invalidaría sus cálculos. Rutherford había encontrado esa otra fuente. Gracias a la radiactividad, la Tierra podía ser -y demostraba ser- mucho más antigua que los 24 millones de años que los últimos cálculos de Kelvin admitían.

A Kelvin le complació mucho la respetuosa exposición de Rutherford, pero no le hizo modificar lo más mínimo su posición. Nunca aceptó las cifras revisadas<sup>25</sup> y siguió creyendo hasta el día de su

muerte que su trabajo sobre la edad de la Tierra era su aportación más inteligente e importante a la ciencia... mucho mayor que sus trabajos de termodinámica.

Los nuevos descubrimientos de Rutherford no fueron universalmente bien recibidos, como suele pasar con la mayoría de las revoluciones científicas. John Joly, de Dublín, insistió enérgicamente hasta bien entrada la década de los treinta, en que la Tierra no tenía más de 89 millones de años de antigüedad y sólo dejó de hacerlo porque se murió. Otros empezaron a preocuparse porque Rutherford les había dado ahora demasiado tiempo. Pero, incluso con la datación radiométrica, como pasaron a llamarse las mediciones basadas en la desintegración, aún se tardaría décadas en llegar a mil millones de años o así de la verdadera edad de la Tierra. La ciencia estaba en el buen camino, pero lejos del final.

Kelvin murió en 1907. En ese mismo año murió también Dimitri Mendeleev. Como en el caso de Kelvin, su trabajo productivo quedaba ya muy atrás, pero sus años de decadencia fueron notablemente

menos serenos. Con los años, Mendeleev fue haciéndose cada vez más excéntrico (se negó a aceptar la existencia de la radiación y del electrón y de muchas otras cosas nuevas) y más problemático. Pasó sus últimas déca-

das abandonando furioso laboratorios y salas de conferencias de toda Europa. En 1955 se denominó mendelevio al elemento 101 en su honor. «Es, apropiadamente -comenta Paul Strathern-, un elemento inestable.»<sup>26</sup>

La radiación, por supuesto, siguió y siguió, literalmente y de formas que nadie esperaba. A principios de la década de 1900, Pierre Curie empezó a experimentar claros signos de radiopatía, la enfermedad causada por la radiación (principalmente dolores en los huesos y una sensación crónica de malestar) y que es muy probable que se hubiese agudizado desagradablemente. Nunca lo sabremos seguro porque, en 1906, murió atropellado por un carruaje cuando cruzaba una calle de París.

Marie Curie pasó el resto de su vida trabajando con distinción en su campo y colaboró en la creación del célebre Instituto de Radio de la Universidad de Pa-

rís, que se fundó en 1914. A pesar de sus dos premios Nobel, nunca fue elegida para la Academia de Ciencias, en gran medida porque después de la muerte de Pierre tuvo una relación con un físico casado lo suficientemente indiscreta para escandalizar incluso a los franceses... o al menos a los viejos que dirigían la Academia, que es quizás una cuestión distinta.

Durante mucho tiempo se creyó que una cosa tan milagrosamente energética como la radiactividad tenía que ser beneficiosa. Los fabricantes de dentífricos y de laxantes pusieron durante años torio radiactivo en sus productos y, al menos hasta finales de la década de los veinte, el Hotel Glen Springs de la región de Finger Lakes, Nueva York (y otros más, sin duda), proclamaron los efectos terapéuticos de sus «fuentes minerales radiactivas».<sup>27</sup> No se prohibió el uso en los artículos de consumo hasta 1938.<sup>28</sup> Por entonces era ya demasiado tarde para la señora Curie, que murió de leucemia en 1934. En realidad, la radiación es tan perniciosa y duradera que, incluso hoy, sus documentos de la década de 1890 (hasta sus libros de cocina) son demasiado peligrosos y no

se pueden utilizar. Sus libros de laboratorio se guardan en cajas forradas de plomo <sup>29</sup> y quienes quieren verlos tienen que ponerse ropa especial.

Gracias al abnegado trabajo de los primeros científicos atómicos, que no sabían que corrían tanto peligro, en los primeros años del siglo xx empezaba a verse claro que la Tierra era indiscutiblemente venerable, aunque todavía haría falta otro medio siglo de ciencia para que alguien pudiese decir con seguridad cuánto. Entre tanto, la ciencia estaba a punto de alcanzar una nueva era propia: la atómica.