

## Introducción

Quizá, sin embargo, te estés tornando desconfiado de mis palabras, porque estos átomos míos no son visibles a los ojos. Considera, entonces, esta evidencia adicional de cuerpos cuya existencia debes reconocer aunque no puedan ser vistos.  
LUCRECIO, *De Rerum Natura*, c. 60 a.C.

El físico norteamericano Richard Feynman propuso una vez el siguiente ejercicio. “Imagínense que se acaba la humanidad y hay que dejar un mensaje para los próximos seres inteligentes que habiten el planeta Tierra. De entre todo el conocimiento humano hay que elegir una simple oración que capture la mayor cantidad de información sobre el Universo en el mínimo de palabras”. Esta oración, según Feynman, es “El Universo está hecho de átomos”.

El Universo está hecho de átomos: partículas discretas de materias separadas por vastas distancias en un absoluto vacío. Es una de las verdades más profundas y simples que la ciencia ha develado sobre el mundo en que vivimos. Nadie duda de ella y, la verdad sea dicha, tampoco parece tan sorprendente. Y casi todo el mundo lo sabe. Ha pasado a ser parte del conocimiento popular.

Supongamos, sin embargo, que le pedimos a alguien –elegido al azar de entre los invitados a nuestro cum-

pleaños, o nuestros amigos del club— que nos explique cómo sabemos que el mundo está hecho de átomos. Encontraremos que con muy raras excepciones nadie tiene la menor idea de por qué creemos algo que, si nos detenemos a pensar un poco, es más bien absurdo. Nadie puede decir que ha visto un átomo; ciertamente, los objetos con los que nos encontramos a diario no delatan con facilidad su naturaleza atómica y los experimentos que la revelan parecen estar escondidos en los expedientes secretos de los hombres y mujeres de ciencia. Es más, la pequeñez e invisibilidad mismas de los átomos más bien parecen argumentos astutos de una idea bien pensada para que nadie jamás la pueda demostrar o refutar. Sin embargo, la ciencia la mantiene más allá de toda duda razonable y los experimentos pertinentes son entendibles y accesibles para todo el mundo, si uno se toma el trabajo de estudiarlos. Es llamativo entonces que la mayor parte de la humanidad crea de manera más o menos dogmática, sin poder brindar ninguna razón coherente ni evidencia palpable, en una de las ideas más poderosas que la humanidad haya generado en su historia.

Uno de los propósitos de este libro es brindar al alcance de todos esa evidencia que nos hace pensar, con total seguridad, que esa mesa, ese bloque de cemento y ese chorro de agua, a un nivel tremendamente diminuto, son de naturaleza discontinua, corpuscular, y que en medio de los corpúsculos no hay otra cosa que el más absoluto de los vacíos. Pero esa evidencia no es la del tipo que puede encontrarse en el juicio de malversación de

fondos de nuestros políticos favoritos. Es más sutil, más indirecta. Y tampoco surge simplemente de la observación de las flores y las piedras, sino que es el producto de arranques fabulosos de la más descabellada imaginación.

Es necesario, sin embargo, aclarar qué cosas este libro *no* pretende ofrecer. En primer lugar, no es un libro sobre la energía nuclear ni sobre la estructura interna del átomo. No hay en estas páginas historias de electrones y núcleos, orbitales, bombas atómicas o centrales nucleares, o partículas subatómicas, protones, taquiones o quarks. No, lo que este libro cuenta es cómo los científicos llegaron a convencerse de que los átomos realmente existen (no de qué están hechos), es decir, cómo la humanidad llegó a creer (o a establecer) que la materia está hecha de “paquetes” de materia con vacío entre medio. Las historias de este libro recorren, entonces, el camino hasta principios del siglo xx, hasta el momento en que la ciencia dejó de dudar de la existencia de los átomos, pero justo antes de que empezara a preguntarse qué hay adentro de ellos.

Por otro lado, éste no es un texto de historia. He elegido los eventos y viñetas contenidos en estas páginas a fin de ilustrar cómo los científicos llegan a obtener sus ideas. Si bien he consultado muchas fuentes primarias, la mayor parte de las ideas proviene de fuentes secundarias. De todas formas, espero que la estructura histórica del libro ayude a hacer las tesis centrales más vívidas y convincentes (y quizá, de taquito, ofrezca material de discusión en alguna que otra clase de química).

Además de los capítulos principales, el libro contiene un preludio, un postludio y varios interludios. En ellos se plantean temas y cuestiones aledañas al tópico central de los átomos, viñetas unitarias para enriquecer la lectura y mostrar aspectos a veces poco conocidos del quehacer científico.

Las ideas más interesantes de la ciencia son aquellas que tratan de las cosas más extremas, aquellas que no podemos observar a simple vista y que incluso son difíciles de concebir. ¿A quién le interesa que le cuenten lo obvio? Lo interesante en el conocimiento es percibir patrones y significados que escapan a la visión superficial, pero que hablan de una unidad más fundamental debajo de esa superficie. Cuando la ciencia encuentra esas conexiones invisibles, ha roto con lo trivial y se ha sumergido en lo trascendente. La idea de la constitución atómica de la materia es de ese calibre. Pero, como los átomos son entidades invisibles, los científicos no los pudieron observar, sino que tuvieron que imaginarlos. Alguna vez se dijo que la ciencia es, precisamente, la frontera ardiente entre observación e imaginación. Este libro busca explorar un trecho minúsculo de esa larga frontera.

Preludio

## **El pequeño secreto de mister Brown**

Antes de embarcarse en el histórico viaje alrededor del mundo a bordo del *Beagle*, Charles Darwin, creador de la teoría evolutiva, se encontró varias veces con el entonces famoso botánico inglés Robert Brown. Darwin tenía veintidós años y era un ilustre desconocido, pero ya había iniciado su costumbre de socializar con hombres eminentes mayores que él. Brown había contribuido enormemente al estudio de la biología vegetal y además, treinta años antes de sus encuentros con Darwin, se había embarcado a su vez en un viaje de exploración a bordo del buque *Investigator* en las costas de Australia (en donde había producido una magnífica colección de plantas que estudió por años con enorme éxito). Sin duda, el joven Darwin buscaba consejo de un veterano: en 1831 Brown frisaba ya los sesenta, y sus desventuras en Australia eran parte de un legendario pasado.

Ese domingo, cuando Darwin llegó a la casa de Brown en el Soho Londinense, el botánico estaba absorto en el estudio de un espécimen bajo su microscopio. Esto no era sorprendente. Brown se había destacado por

años por la minuciosidad de sus investigaciones, las cuales lo habían llevado a estudios cada vez más pormenorizados y al uso frecuente de observaciones microscópicas. Con ayuda de este instrumento, había descubierto fenómenos y estructuras de crucial importancia. Por ejemplo, ese mismo año había publicado nada más y nada menos que el descubrimiento del núcleo celular. Esa mañana Brown invitó al joven Charles a echar una ojeada. "Creo ahora que lo que vi fueron las maravillosas corrientes en el protoplasma de una célula vegetal", había de recordar Darwin años después. Pero aquel día se limitó a preguntar: "¿Qué es?". "Ése es mi secretito", contestó enigmático el anciano mister Brown.

Es posible que se tratara, como pensó Darwin, del movimiento citoplasmático. O quizá se tratara, aunque es poco probable, de otro movimiento microscópico, aquel por el que Brown pasó a la historia: el famoso "movimiento browniano". Brown descubrió este fenómeno al estudiar granos de polen, los cuales debían observarse con cuidado para determinar claves morfológicas para la clasificación de especies vegetales. Advirtió entonces que los granos de polen suspendidos en líquidos bailaban alocadamente sin ton ni son. Se preguntó si se trataba de un movimiento motorizado internamente por los propios granos, pero logró determinar que la misma danza se hacía manifiesta en motas de polvo o partículas de ceniza. Concluyó que el movimiento se debía, de alguna forma, al líquido, aunque este movimiento, sorprendentemente, parecía no cesar nunca.

Darwin se sintió sorprendido por la actitud misteriosa de Brown. Los dos tenían mucho en común; no sólo los viajes a confines lejanos del mundo biológico y una enorme curiosidad: ambos eran observadores de extraordinaria agudeza. Sin embargo, los dos científicos tenían importantes diferencias de carácter; entre estas diferencias, una era especialmente significativa. Darwin supo darles un inesperado giro de imaginación a todas sus observaciones, concibiendo la más vasta y profunda red de ideas en la historia de la biología. Brown, en cambio, acumuló una serie de observaciones brillantes pero fue incapaz de vislumbrar su significado más profundo. Mientras que Darwin se esforzó durante toda su carrera en proveer esquemas de pensamiento generales, que dieran sentido a enormes conjuntos de observaciones independientes, Brown dejó sembrados comentarios importantes ocultos en trabajos no relacionados. Por ejemplo, el descubrimiento del núcleo celular está enterrado en un trabajo sobre la morfología microscópica de orquídeas; en él, Brown observa que todas las células tienen un núcleo, pero no elabora la idea más allá. En la misma época, Theodor Schwann hizo la misma observación que Brown pero esto lo indujo a proponer que todos los seres vivos estamos hechos de células, e inició una de las ideas fundamentales de la biología: la teoría celular. Dice Darwin sobre Brown: "Nunca compartió conmigo ninguna visión científica amplia en biología".

Las "visiones amplias" a las que hace referencia Darwin reciben el nombre de *teorías*. La teoría celular es una

de ellas y la teoría evolutiva, por supuesto, es otra.<sup>1</sup> Otra de las grandes teorías científicas es la teoría atómica. Este libro trata sobre el desarrollo de esta última, en Inglaterra alrededor de 1800, cuando Brown exploraba las costas de Australia. En el esbozo de toda teoría, las ideas imaginativas de quienes tienen "visiones amplias" interactúan de manera sutil y compleja con las observaciones que hacemos de la realidad. Las teorías nacen del mundo de la imaginación, pero deben adecuarse al mundo de los fenómenos. Veremos cómo, en el desarrollo de la teoría atómica, fueron decisivas algunas personalidades como la de Robert Brown, capaces de realizar observaciones de alta precisión, y otras como la de Charles Darwin, hábiles para imaginar realidades fundamentales invisibles a los ojos.

Las teorías deben adecuarse a las observaciones, nos dicen, pero con frecuencia encontramos que ciertas observaciones son ignoradas para conservar una teoría, o que la teoría predice observaciones que no han sido realizadas aún. Y a veces una observación realizada hace mucho tiempo y en otro contexto encuentra sentido y valor en el marco de una nueva teoría. Y así algunos misterios antiguos son develados a la luz de una teoría más nueva; cuando esto sucede, la teoría gana fuerza.

<sup>1</sup> Darwin propuso también una teoría de la herencia, pero ésta no sobrevivió el escrutinio de otros científicos y eventualmente fue abandonada en favor de la teoría mendeliana y cromosómica.

La teoría atómica no estuvo exenta de debates y muchos investigadores no aceptaron la existencia de los átomos hasta principios del siglo XX, pero fue una observación antigua la que terminó dándole una fuerza irresistible.

En 1905, un tal Albert Einstein finalmente publicó un trabajo que convenció al último reducto de físicos escépticos de que los átomos realmente existen. Su trabajo consistió en una descripción matemática en términos moleculares del movimiento browniano, uno de los tantos misterios del enigmático mister Brown.

## Capítulo 8

# **Bolas, palitos y la estructura molecular**

Hasta ahora uno podía imaginarse a los átomos como diminutas esferas perfectamente lisas, y a las moléculas como aglomerados amorfos, o de forma desconocida, de esas bolitas. Pero ¿quién no ha visto esos hermosos modelos moleculares en tres dimensiones en los que bolas de colores están unidas por palitos conectores? Éstas no son esferas perfectas ni aglomerados amorfos, son cosas con estructura compleja y hasta atractiva. Esta imagen más compleja del átomo estaba en proceso de fermentación en los años previos al Congreso de Karlsruhe, y una vez consolidados los pesos atómicos de Cannizzaro, floreció con rapidez. Veamos su historia.

### **Isómeros: los misteriosos gemelos químicos**

Las primeras pistas de esta concepción en desarrollo de los átomos y las moléculas provinieron del estudio de las sustancias orgánicas. Mientras los debates so-

bre los pesos atómicos se llevaban adelante a lo largo del siglo XIX, muchos químicos estaban abocados a aislar y estudiar sustancias provenientes de plantas y animales. El azúcar se extraía de las frutas; el alcohol, de su jugo fermentado; el ácido acético, del vinagre; el ácido fórmico, de hormigas machacadas. Había cientos de sustancias y cada vez aparecían más. Todas ellas contenían carbono e hidrógeno, por lo general también oxígeno y muchas veces nitrógeno y otros elementos, como azufre, fósforo o cloro.

¿Cómo era posible generar un número aparentemente gigantesco de sustancias con tan pocos tipos de átomos? La primera respuesta a esta pregunta fue establecida por el propio Dalton: cada uno de esos compuestos debe tener su propia proporción de cada uno de los átomos, o, en otras palabras: cada sustancia tiene su propia fórmula. Pero resulta que muchas sustancias orgánicas tienen exactamente la misma fórmula, la misma cantidad exacta de cada uno de los elementos. Por ejemplo, existen dos alcoholes con la fórmula  $C_3H_8O$  y numerosos azúcares con la fórmula  $C_6H_{12}O_6$ .

El fenómeno de sustancias diferentes (o sea, con propiedades diferentes) con una fórmula idéntica fue notado por primera vez por Gay-Lussac. Berzelius lo bautizó con el nombre de "isomerismo". Dos sustancias son *isómeros* cuando tienen la misma fórmula. ¿Cómo se explica esto? Inmediatamente fue claro para los químicos que la respuesta tenía que encontrarse en la estructura interna de las moléculas. Los mismos átomos pueden

unirse unos a otros de manera diferente, produciendo moléculas diferentes y, por lo tanto, con propiedades particulares y personales.

Ahora bien, ¿cuál es la estructura interna de una molécula y cómo puede determinarse? Ésta no era una cuestión sencilla en tiempos en los cuales los científicos ni siquiera estaban de acuerdo sobre las fórmulas, en primer lugar.

### En la luna de valencia

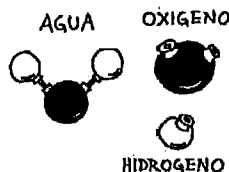
En las décadas previas al Congreso de Karlsruhe varios químicos fueron advirtiendo patrones peculiares en la combinación de los elementos. Por ejemplo, el hidrógeno forma varios compuestos en los que existen sólo dos átomos, como  $HCl$ ,  $HBr$ ,  $H_2$ . También forma compuestos en los que hay dos átomos de hidrógeno y uno solo del otro tipo, como en  $H_2O$  y  $SH_2$ . En el caso del amoníaco ( $NH_3$ ) hay tres átomos de hidrógeno y uno solo de nitrógeno. En ningún caso hay menos átomos de hidrógeno que cualquiera de los otros átomos. Nunca vemos un compuesto del estilo  $X_2H$  o  $X_3H$  (donde  $X$  representa cualquier otro elemento). Es como si el hidrógeno tuviera una sola capacidad o punto de unión con los otros átomos.

De estas fórmulas puede verse que el cloro y el bromo, por ejemplo, también parecen tener un solo punto de unión y por eso, al combinarse con hidrógeno, lo ha-

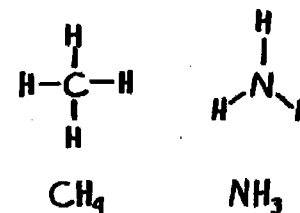
cen uno a uno. El oxígeno, en cambio, parece tener dos puntos de unión y por eso se une con dos átomos de hidrógeno. De la misma manera, podemos ver que el nitrógeno parece tener tres puntos de unión.

La idea de "puntos de unión" apareció por primera vez en los escritos de Edward Frankland y Alexander W. Williamson. El primero propuso el nombre de "atomicidad" para referirse al número de puntos de unión de un átomo. Más tarde se impuso el nombre "valencia" y ese nombre se impuso. Se habla del hidrógeno como un átomo de valencia 1 y de que el oxígeno tiene una valencia igual a 2.

La idea de valencia resultó poderosísima, como veremos en un instante. Pero para empezar, notemos que nos provee inmediatamente de una nueva imagen mental del átomo, no con una superficie pulida y perfecta, sino con algún tipo de punto de unión. Podríamos representar un átomo de hidrógeno o uno de oxígeno como lo que vemos en la figura. Los puntos de unión obviamente son sitios de origen o de localización de algún tipo de fuerza que mantiene a los átomos unidos. Y uno podría también representar las uniones entre los átomos como barras.



Éste fue un camino que los químicos recorrieron con cierta aprehensión, porque no tenían forma de verificar si realmente estaban produciendo una imagen fidedigna del mundo microscópico. Pero las representaciones son útiles, se van colando en nuestras vidas, y con el tiempo van ganando fuerza. Frankland acuñó también el término "unión" o "enlace" para referirse a la fuerza entre los átomos. Esta inocente palabrita evoca en la mente de muchos una entidad física: algo uniendo o enlazando dos cosas; Frankland no tenía una intención tan "concreta", pero la imaginación popular se escapa de las manos de hasta el más pintado. Posiblemente esa misma idea sugirió al químico escocés Alexander Crum Brown, en 1861, el representar a cada átomo con su símbolo químico y a los enlaces entre ellos como rayitas. Ésta es la nomenclatura gráfica que los químicos conservan hoy en día. La figura siguiente muestra las moléculas de amoníaco y el gas de hornalla en representaciones de este estilo.



Y uno también podría preguntarse: ¿pero de qué están hechas estas uniones, qué tipo de fuerzas mantienen juntos a los átomos, por qué cierto número de uniones y no



otro? Todas éstas son preguntas válidas, pero que en esa época resultaban difíciles o imposibles de contestar. Tampoco perdamos de vista que lo que vemos en estas figuras eran, y de alguna manera siguen siendo, simplemente representaciones.<sup>32</sup> La idea de puntos de unión, si bien fue y sigue siendo útil, fue elaborada y modificada por los científicos con el correr del tiempo. Aun cuando en algunas áreas de la ciencia se siguen usando estas representaciones, muchos químicos trabajan con visiones altamente sofisticadas de la estructura interna del átomo y de cómo los átomos se unen unos con otros. Sin embargo, la valencia nos recuerda que una idea científica puede ser útil y fructífera sin necesariamente ser cierta o eterna.

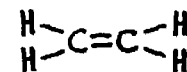
La idea de valencia fue explotada con todo vigor en 1858 por Kekulé, el alemán que convocaría al Congreso de Karlsruhe dos años más tarde.

### Las moleculitas de Kekulé

Kekulé notó que podían dibujarse fórmulas para todos los compuestos orgánicos si se asumía que el hidrógeno tenía una valencia de 1, el oxígeno de 2, el nitrógeno

<sup>32</sup> En la Antigüedad, la observación de los cielos llevó a los pensadores a proponer representaciones del cosmos en las que los planetas giraban en torno a la Tierra montados en esferas giratorias gigantescas y transparentes. Tan creíble resultaba la representación que muchos se preguntaban de qué estarían hechas las esferas y si se gastarían en las superficies de contacto entre unas y otras.

no de 3 y el carbono de 4. Además, tuvo la genial idea de que los átomos de carbono podían conectarse entre sí, dejando las uniones sobrantes para interactuar con otros átomos. Por ejemplo, el etileno (hoy conocido como eteno), un gas combustible, tiene dos átomos de carbono y cuatro de hidrógeno. Kekulé pudo escribirlo de la siguiente manera:<sup>33</sup>



De esta forma, fue capaz de ir escribiendo, o deberíamos decir *dibujando*, toda clase de compuestos. El acetileno (hoy recibe el nombre de etino) tiene 2 átomos de carbono y 2 de hidrógeno. ¿Cómo lo dibujamos? Simple: con tres uniones entre los átomos de carbono y una unión con el hidrógeno sobrante de cada carbono.

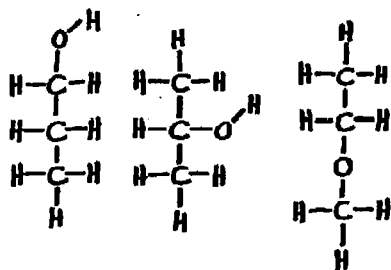


Esta naciente visión de las moléculas recibió el nombre de "teoría estructural",<sup>34</sup> pues trata de la estructura

<sup>33</sup> Kekulé usaba otro tipo de representación gráfica, bastante confusa, pero la idea es la misma.

<sup>34</sup> Kekulé no fue el único, desde luego, en hacer contribuciones fundacionales a esta rama de la ciencia. Entre otros figurones podemos nombrar al ruso Aleksandr Mikhailovich Butlerov. Para los amantes del chusmerío científico es divertido notar que Butlerov tuvo en Rusia unas peleas terribles con Dimitri Mendeleev, el padre de

de las moléculas y es parte, naturalmente, de la teoría atómica. Con este esquema podía explicarse la existencia de isómeros; por ejemplo, las tres moléculas representadas en la figura corresponden a tres sustancias con propiedades diferentes, aunque puede verse que ambas contienen el mismo tipo y número de átomos.



### El número de isómeros

En esa época no existía forma de establecer si esas fórmulas estructurales (los dibujos) correspondían o no a la disposición real de los átomos en el espacio en las moléculas verdaderas. Muchos científicos se horrorizaban ante la idea de sugerir que así podía ser. Pero exis-

---

la Tabla Periódica. Créase o no, el enfrentamiento giró en torno al más allá. En esa época estaban de moda en Europa las sesiones espiritistas. Butlerov pensaba que valía la pena prestarles atención a estos fenómenos fantasmales y Mendeleyev sostenía que era pura charlatanería.

tían evidencias indirectas que prestaban credibilidad al sistema, así como la Ley de Proporciones Múltiples de Dalton había prestado credibilidad a la idea original de átomos con pesos característicos.

La idea central aquí es que los isómeros tienen la misma cantidad y tipo de átomos, pero ensamblados de manera diferente. Si la diferencia en propiedades químicas depende de la forma de conectar los átomos, entonces tiene que haber tantos isómeros de una determinada fórmula como modos de ensamblar ese número de átomos. Esto no es difícil de determinar, basta con escribir todas las combinaciones posibles en un papel. Por ejemplo, los compuestos con fórmula  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  y  $\text{C}_3\text{H}_8$  sólo pueden dibujarse de una manera cada uno (es decir, existe sólo una forma de conectar los átomos respetando las valencias de cada uno) y los experimentos muestran que sólo existe un compuesto con cada una de esas fórmulas (no tienen isómeros). En cambio, 4 átomos de carbono y 10 de hidrógeno pueden conectarse de dos maneras diferentes y, en efecto, los experimentos muestran que existen dos sustancias diferentes con la fórmula  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

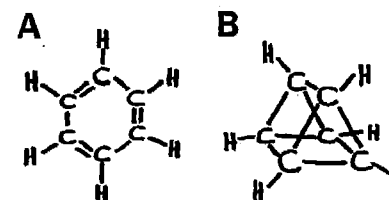
En casi todos los casos, el número de isómeros coincide con las permutaciones posibles de los átomos en las estructuras dibujadas de este modo, lo cual sustenta la idea de que estos dibujos realmente describen la manera en que los átomos están enlazados para formar una molécula.

## El caso del benceno

La teoría estructural, como su hermana más grande (la teoría atómica), tiene características que podemos ilustrar usando el ejemplo histórico de la molécula de benceno. El benceno es un líquido inflamable de olor penetrante y de fórmula  $C_6H_6$ . Se le atribuye a Kekulé el haber "descubierto" la estructura molecular del benceno (contrariamente a las versiones estudiantiles, el nombre de este investigador no deviene de su suerte con los experimentos). Como veremos, esto es simplificar un poco las cosas.

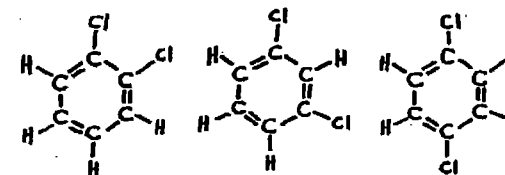
Observemos antes que nada que una fórmula estructural con 6 átomos de carbono y 6 de hidrógeno es difícil de hacer si queremos que todos los átomos de carbono establezcan cuatro uniones. Kekulé cuenta que estaba trabajando arduamente en el problema cuando se quedó dormido frente a los leños ardientes de su hogar. En su sueño las llamas danzaban en el aire en forma de serpientes; de pronto, una serpiente se mordió la cola formando un anillo y Kekulé se despertó sobresaltado. La respuesta estaba en su cabeza: el "primer" átomo de la cadena de benceno podía unirse con el "último" y formar un anillo. Así, ideó la estructura que vemos en la figura A.

Esta estructura tenía la ventaja de conservar inalterada la suposición de que los átomos de carbono siempre establecen cuatro uniones. Además, tenía otra ventaja. Varios experimentos químicos habían mostrado que los átomos de hidrógeno del benceno podían ser sustituidos por otros átomos, por ejemplo, cloro. Si se susti-



tuye sólo un átomo de hidrógeno, obtenemos un solo tipo de sustancia, es decir, no existen isómeros de esa sustancia. La fórmula de Kekulé refleja este hecho porque no importa qué átomo de hidrógeno cambiemos por cloro, siempre obtenemos la misma cosa. Existen otras estructuras imaginables (pero que no mostramos) que implican otro número de isómeros y que, por lo tanto, no calzan con los resultados experimentales. Pero, a no entusiasmarse tanto, que otros científicos propusieron otras estructuras que también cumplen con las condiciones de Kekulé, como la dibujada en la figura B.

A su vez, la estructura propuesta por Kekulé predice que, si sustituimos 2 átomos de hidrógeno por átomos de cloro, deberemos obtener 3 isómeros, con estructuras detalladas en la figura que sigue. En efecto, eso es lo que sucede.



Lo que vemos claramente en este caso es que la idea del anillo de benceno no se desprende inmediatamente de los experimentos sino que surge de la imaginación (el sueño) de Kekulé. Es una idea inventada, como la idea misma de los átomos. Una vez que Kekulé tiene esa imagen, sin embargo, analiza cómo acomoda los datos de la realidad; por ejemplo, el número de isómeros de los derivados clorados del benceno. Como los acomoda bien, Kekulé se siente más seguro de que su estructura probablemente refleje la realidad. Pero no puede estar absolutamente seguro. Otras alternativas son posibles también. Como en toda investigación científica, nuevos experimentos deben ser llevados adelante para poder determinar cuál de las estructuras propuestas describe mejor la realidad invisible de la molécula de benceno.

### Otros avances

Con el mismo tipo de estrategia, el holandés Jacobus Henricus van't Hoff tuvo la interesante idea de que las uniones del átomo de carbono (esos palitos del dibujo) apuntan hacia los vértices de un tetraedro (una pirámide con lados que son triángulos equiláteros). Esto parece una idea descabelladamente detallada. ¿Acaso los vio? Nuevamente, no: el mundo de las moléculas seguía siendo inalcanzablemente diminuto, pero existían ciertos isómeros cuyos números y características podían explicarse elegantemente si se asumía esa geometría en par-

ticular. No vamos a entrar aquí en detalles, pero baste señalar que el mecanismo de imaginar cosas invisibles que permiten hacer que los resultados experimentales encajen tuvo más de una batalla ganada.

Eventualmente, se desarrollaron técnicas que permitieron establecer la posición de los átomos dentro de las moléculas usando otros principios. Algo más cercano a "ver", pero dependiente de complejos estudios matemáticos del comportamiento de rayos X que pasaban a través de muestras cristalizadas de las sustancias pertinentes. Estos estudios fueron profundamente convincentes de que las moléculas son así en verdad, y no sólo en nuestra imaginación, pero tales técnicas son también indirectas y se han valido de lo que Galileo llamaba "el ojo de la mente". El mismo Kekulé lo manifestó así: "Soñemos, caballeros, y entonces quizás encontremos la verdad... pero cuidémonos de publicar nuestros sueños antes de que sean puestos a prueba por la comprensión de nuestra vigilia".

Octavo interludio  
**Científicos juguetones**

A veces se piensa que la herramienta del pensamiento más fina y virtuosa de la ciencia es la matemática, que en el fondo lo que los científicos buscan lograr es una descripción mediante ecuaciones de los fenómenos que estudian. Que los dibujos, esquemas y modelos son herramientas menores, quizá de gran valor educativo o comunicativo, pero ciertamente no lo que los científicos serios y más sofisticados usan en el día a día. ¡Error!

Tanto en la geología como en la bioquímica, los dibujos, mapas y modelos son básicamente una forma de pensar, un recurso tan importante como la más exquisita de las ecuaciones de la física.

Esto se puso fuertemente de manifiesto en los albores de la biología molecular, cuando resultaba indispensable visualizar inmensas macromoléculas en tres dimensiones para empezar a adivinar qué hacían y cómo. Los dos desafíos mayores eran el ADN (el material de la herencia) y las proteínas (las máquinas moleculares que realizan casi todos los trabajos en el in-

terior de las células). Para estudiar la posición de los átomos dentro de estas moléculas, varios científicos y científicas en Inglaterra usaban la técnica de cristalografía de rayos X, cuyos resultados eran enormemente difíciles de interpretar.

En Estados Unidos, el químico Linus Pauling decidió atacar el problema en forma totalmente diferente. Pauling había jugado un papel protagónico en estudiar la naturaleza física del enlace químico, llevando la vieja idea de valencia a definiciones mucho más sofisticadas y precisas. Él, más que nadie, entendía de qué se trataba esta unión; su libro más famoso se llama, de hecho, *La naturaleza del enlace químico*. Para estudiar las proteínas se valió del hecho de que éstas son largas cadenas de unidades más chicas llamadas aminoácidos (algo así como collares de cuentas moleculares). Decidió entonces estudiar a fondo las características químicas de los enlaces dentro y entre los aminoácidos, las unidades constitutivas de las proteínas. Con este conocimiento detallado pudo imaginar cómo podían girar y moverse los átomos en el espacio en tres dimensiones.

Una vez, en 1948, mientras visitaba a otros investigadores en Europa, Pauling contrajo una gripe que lo dejó en cama por varios días. Aburrido, se dedicó a dibujar en escala sobre un papel una cadena polipeptídica, es decir, varios aminoácidos unidos unos a otros. Pudo hacerlo con facilidad pues sabía de memoria los ángulos y longitudes de todos los enlaces pertinentes. Los recortó y empezó a... jugar. Sí, a jugar. Los fue plegando

y doblando, siempre respetando las leyes de ángulos y distancias. Hasta que su modelito de papel se le plegó en las manos en la forma de una hermosa serpentina, como una escalera de caracol: lo que los científicos llaman una "hélice" (y que no debe ser confundida con la hélice de un barco).

Con esta idea en la mano, confirmó de manera más rigurosa, junto con Robert Corey, que su intuición era correcta, y todos sus cálculos indicaron que sí. A principios de 1951 Pauling dio una charla en el Instituto Tecnológico de California (Caltech), en Pasadena, en la que reveló al mundo lo que él había bautizado como "alfa-hélice". Esta maravilla de molécula es una larga cadena de eslabones que se pliega sobre sí misma en el espacio, como una escalera caracol. La presentó a su público en forma de un modelo en 3-D, el cual explicó con minucioso detalle. En abril de 1951, él y Corey publicaron sus resultados. En algunos años más los cristalógrafos ingleses confirmaron atónitos que la alfa-hélice realmente está presente en numerosas proteínas.

Esta misma actitud juguetona fue adoptada por James Watson y Francis Crick cuando decidieron imaginarse la estructura tridimensional del ADN. Encargaron modelos de las subunidades del ADN al taller del instituto en donde trabajaban (hermosos modelos hechos de metal a perfecta escala). Pero como el taller tardaba mucho, Watson, cansado de esperar y preocupado por la posibilidad de que el mismo Pauling se les adelantara en el arte del juguete científico, dibujó las partes corres-

pondientes en cartulina, las recortó y empezó a jugar con ellas. Mediante ese juego, Watson descubrió la mañana del 28 de febrero de 1953 uno de los principios más importantes de la biología: el de la complementariedad de bases (según el cual A se aparea con T y C se aparea con G, como puede leerse en un libro básico de biología).

Estos dos ejemplos nos muestran que los modelos, además de ser el producto de la imaginación, son también promotores de la imaginación, porque permiten a los investigadores jugar con sus ideas, probar nuevas combinaciones, "ver qué pasa". En ambos casos, los juguetones e imaginativos llegaron a las ideas clave antes que aquellos que juntaban dato sobre dato sin atreverse a soñar.

## Capítulo 9 La Tabla

La Tabla Periódica era increíblemente hermosa, la cosa más bella que hubiera visto nunca. Nunca logré analizar adecuadamente qué quise decir aquí con belleza. ¿Simplicidad? ¿Coherencia? ¿Inevitabilidad? O quizá sólo era la simetría, la comprensividad de cada elemento firmemente trabado en su lugar, sin agujeros, sin excepciones, cada cosa implicando todas las demás.

OLIVER SACKS

En el verano de 1860 llegaron al Congreso de Karlsruhe dos vivaces estudiantes rusos. Uno de ellos era Alexander Borodin, quien más tarde se convertiría en uno de los más importantes compositores rusos y pasaría a la fama con, entre otras obras, la ópera *El príncipe Igor*.<sup>35</sup> El otro, amigo del primero, iba a recibir en el congreso un sacudón intelectual que terminaría catapultándolo al panteón de los dioses de la química. Era Dimitri Ivanovich Mendeleyev, el padre de la Tabla Periódica.<sup>36</sup>

<sup>35</sup> La obertura a esta ópera recibe el nombre de "Las danzas polovtsianas" y tiene una linda melodía que puede reconocerse en la canción "Quiéreme" de Julio Iglesias y en otra en inglés titulada "A stranger in paradise".

<sup>36</sup> La Tabla Periódica no fue creada por una sola persona. Fue el resultado de una evolución más bien paulatina de ideas. Las ba-

La Tabla Periódica de los Elementos es el símbolo emblemático de la química. La encontramos en todas las aulas de ciencia y en sus libros. Aparece pintada en remeras y en corbatas, y hasta en calzoncillos, y ha sido la inspiración de varias impostoras menos científicas (y nada periódicas) como la "tabla periódica de las frutas" o la "tabla periódica de los postres". La Tabla, sin duda, ha dejado una huella permanente en la cultura de nuestra civilización. Obviamente, la asociamos con los átomos y la teoría atómica. Irónicamente, su inicio tuvo poco que ver con los átomos, pero su impacto contribuyó a hacer del átomo una realidad física creíble.

La Tabla tiene infinidad de virtudes, muchas profundas, pero entre ellas se destaca el ser un modo económico de clasificar los elementos químicos. Como sistema de clasificación, la Tabla tiene un evidente beneficio didáctico: de un golpe uno puede ver, lógicamente ordenados, todos los ladrillos fundamentales que componen el Universo. Nada más ni nada menos.

ses conceptuales de la Tabla fueron establecidas de forma independiente por varios autores, además de Mendeleev. Entre ellos se encuentran el francés de Chancourtois, el inglés Newlands, y sobre todo el alemán Lothar Meyer. Sería interesante explorar cómo estos autores, y aquellos que allanaron el terreno con innumerables ideas y descubrimientos fueron dándoles forma a las ideas detrás de la Tabla. Concentrarse sólo en Mendeleev es en parte serle infiel a la historia, pero lo cierto es que el ruso estudió más el tema y con mayor profundidad que ninguno de los otros.

1		H		Hidrógeno		1.008		3		Be		Berilio		9.012		4		Li		Litio		6.941		11		Na		Sodio		22.99		12		Mg		Magnesio		24.31		19		K		Potasio		39.10		20		Ca		Calcio		40.08		37		Rb		Rubidio		85.47		38		Sr		Estroncio		87.62		56		Ba		Bario		137.3		89		Fr		Francio		(223)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
6		C		Carbono		12.01		24		V		Vanadio		50.94		23		Ti		Titanio		47.88		22		Sc		Escandio		44.96		21		Y		Yttrio		88.91		39		Zr		Zircónio		91.22		40		Nb		Níobio		92.91		41		Mo		Molibdeno		95.94		42		Tc		Tecnecio		(98)		43		Ru		Rutenio		101.1		44		Rh		Rodio		102.9		45		Pd		Paladio		106.4		46		Ag		Plata		107.9		47		Cd		Cadmio		112.4		48		In		Indio		114.8		49		Sn		Estadío		118.7		50		Sb		Antimonio		121.8		51		Te		Telurio		127.6		52		Xe		Xenón		131.3		54		Kr		Kriptón		83.80		56		Rn		Radón		(222)		86		Po		Polonio		(209)		84		Pb		Plomo		207.2		83		Bi		Bismuto		208.9		82		Tl		Talio		204.4		81		Hg		Mercurio		200.6		80		Au		Oro		197.0		79		Pt		Platino		195.1		78		Ni		Níquel		58.69		77		Co		Cobalto		58.93		76		Fe		Hierro		55.85		75		Mn		Manganeso		54.94		74		Cr		Cromo		52.00		73		V		Vanadio		50.94		72		Ti		Titanio		47.88		71		Sc		Escandio		44.96		70		Ca		Calcio		40.08		69		K		Potasio		39.10		68		Rb		Rubidio		85.47		67		Sr		Estroncio		87.62		66		Y		Yttrio		88.91		65		Zr		Zircónio		91.22		64		Nb		Níobio		92.91		63		Mo		Molibdeno		95.94		62		Tc		Tecnecio		(98)		61		Ru		Rutenio		101.1		60		Rh		Rodio		102.9		59		Pd		Paladio		106.4		58		Ag		Plata		107.9		57		Cd		Cadmio		112.4		56		In		Indio		114.8		55		Sn		Estadío		118.7		54		Sb		Antimonio		121.8		53		Te		Telurio		127.6		52		Xe		Xenón		131.3		51		Kr		Kriptón		83.80		50		Rn		Radón		(222)		49		Po		Polonio		(209)		48		Pb		Plomo		207.2		47		Bi		Bismuto		208.9		46		Tl		Talio		204.4		45		Hg		Mercurio		200.6		44		Au		Oro		197.0		43		Pt		Platino		195.1		42		Ni		Níquel		58.69		41		Co		Cobalto		58.93		40		Fe		Hierro		55.85		39		Mn		Manganeso		54.94		38		Cr		Cromo		52.00		37		V		Vanadio		50.94		36		Ti		Titanio		47.88		35		Sc		Escandio		44.96		34		Ca		Calcio		40.08		33		K		Potasio		39.10		32		Rb		Rubidio		85.47		31		Sr		Estroncio		87.62		30		Y		Yttrio		88.91		29		Zr		Zircónio		91.22		28		Nb		Níobio		92.91		27		Mo		Molibdeno		95.94		26		Tc		Tecnecio		(98)		25		Ru		Rutenio		101.1		24		Rh		Rodio		102.9		23		Pd		Paladio		106.4		22		Ag		Plata		107.9		21		Cd		Cadmio		112.4		20		In		Indio		114.8		19		Sn		Estadío		118.7		18		Sb		Antimonio		121.8		17		Te		Telurio		127.6		16		Xe		Xenón		131.3		15		Kr		Kriptón		83.80		14		Rn		Radón		(222)		13		Po		Polonio		(209)		12		Pb		Plomo		207.2		11		Bi		Bismuto		208.9		10		Tl		Talio		204.4		9		Hg		Mercurio		200.6		8		Au		Oro		197.0		7		Pt		Platino		195.1		6		Ni		Níquel		58.69		5		Co		Cobalto		58.93		4		Fe		Hierro		55.85		3		Mn		Manganeso		54.94		2		Cr		Cromo		52.00		1		V		Vanadio		50.94		0		Ti		Titanio		47.88		-1		Sc		Escandio		44.96		-2		Ca		Calcio		40.08		-3		K		Potasio		39.10		-4		Rb		Rubidio		85.47		-5		Sr		Estroncio		87.62		-6		Y		Yttrio		88.91		-7		Zr		Zircónio		91.22		-8		Nb		Níobio		92.91		-9		Mo		Molibdeno		95.94		-10		Tc		Tecnecio		(98)		-11		Ru		Rutenio		101.1		-12		Rh		Rodio		102.9		-13		Pd		Paladio		106.4		-14		Ag		Plata		107.9		-15		Cd		Cadmio		112.4		-16		In		Indio		114.8		-17		Sn		Estadío		118.7		-18		Sb		Antimonio		121.8		-19		Te		Telurio		127.6		-20		Xe		Xenón		131.3		-21		Kr		Kriptón		83.80		-22		Rn		Radón		(222)		-23		Po		Polonio		(209)		-24		Pb		Plomo		207.2		-25		Bi		Bismuto		208.9		-26		Tl		Talio		204.4		-27		Hg		Mercurio		200.6		-28		Au		Oro		197.0		-29		Pt		Platino		195.1		-30		Ni		Níquel		58.69		-31		Co		Cobalto		58.93		-32		Fe		Hierro		55.85		-33		Mn		Manganeso		54.94		-34		Cr		Cromo		52.00		-35		V		Vanadio		50.94		-36		Ti		Titanio		47.88		-37		Sc		Escandio		44.96		-38		Ca		Calcio		40.08		-39		K		Potasio		39.10		-40		Rb		Rubidio		85.47		-41		Sr		Estroncio		87.62		-42		Y		Yttrio		88.91		-43		Zr		Zircónio		91.22		-44		Nb		Níobio		92.91		-45		Mo		Molibdeno		95.94		-46		Tc		Tecnecio		(98)		-47		Ru		Rutenio		101.1		-48		Rh		Rodio		102.9		-49		Pd		Paladio		106.4		-50		Ag		Plata		107.9		-51		Cd		Cadmio		112.4		-52		In		Indio		114.8		-53		Sn		Estadío		118.7		-54		Sb		Antimonio		121.8		-55		Te		Telurio		127.6		-56		Xe		Xenón		131.3		-57		Kr		Kriptón		83.80		-58		Rn		Radón		(222)		-59		Po		Polonio		(209)		-60		Pb		Plomo		207.2		-61		Bi		Bismuto		208.9		-62		Tl		Talio		204.4		-63		Hg		Mercurio		200.6		-64		Au		Oro		197.0		-65		Pt		Platino		195.1		-66		Ni		Níquel		58.69		-67		Co		Cobalto		58.93		-68		Fe		Hierro		55.85		-69		Mn		Manganeso		54.94		-70		Cr		Cromo		52.00		-71		V		Vanadio		50.94		-72		Ti		Titanio		47.88		-73		Sc		Escandio		44.96		-74		Ca		Calcio		40.08		-75		K		Potasio		39.10		-76		Rb		Rubidio		85.47		-77		Sr		Estroncio		87.62		-78		Y		Yttrio		88.91		-79		Zr		Zircónio		91.22		-80		Nb		Níobio		92.91		-81		Mo		Molibdeno		95.94		-82		Tc		Tecnecio		(98)		-83		Ru		Rutenio		101.1		-84		Rh		Rodio		102.9		-85		Pd		Paladio		106.4		-86		Ag		Plata		107.9		-87		Cd		Cadmio		112.4		-88		In		Indio		114.8		-89		Sn		Estadío		118.7		-90		Sb		Antimonio		121.8		-91		Te		Telurio		127.6		-92		Xe		Xenón		131.3		-93		Kr		Kriptón		83.80		-94		Rn		Radón		(222)		-95		Po		Polonio		(209)		-96		Pb		Plomo		207.2		-97		Bi		Bismuto		208.9		-98		Tl		Talio		204.4		-99		Hg		Mercurio		200.6		-100		Au		Oro		197.0		-101		Pt		Platino		195.1		-102		Ni		Níquel		58.69		-103		Co		Cobalto		58.93		-104		Fe		Hierro		55.85		-105		Mn		Manganeso		54.94		-106		Cr		Cromo		52.00		-107		V		Vanadio		50.94		-108		Ti		Titanio		47.88		-109		Sc		Escandio		44.96		-110		Ca		Calcio		40.08		-111		K		Potasio		39.10		-112		Rb		Rubidio		85.47		-113		Sr		Estroncio		87.62		-114		Y		Yttrio		88.91		-115		Zr		Zircónio		91.22		-116		Nb		Níobio		92.91		-117		Mo		Molibdeno		95.94		-118		Tc		Tecnecio		(98)		-119		Ru		Rutenio		101.1		-120		Rh		Rodio		102.9		-121		Pd		Paladio		106.4		-122		Ag		Plata		107.9		-123		Cd		Cadmio		112.4		-124		In		Indio		114.8		-125		Sn		Estadío		118.7		-126		Sb		Antimonio		121.8		-127		Te		Telurio		127.6		-128		Xe		Xenón		131.3		-129		Kr		Kriptón		83.80		-130		Rn		Radón		(222)		-131		Po		Polonio		(209)		-132		Pb		Plomo		207.2		-133		Bi		Bismuto		208.9		-134		Tl		Talio		204.4		-135		Hg		Mercurio		200.6		-136		Au		Oro		197.0		-137		Pt		Platino		195.1		-138		Ni		Níquel		58.69		-139		Co		Cobalto		58.93		-140		Fe		Hierro		55.85		-141		Mn		Manganeso		54.94		-142		Cr		Cromo		52.00		-143		V		Vanadio		50.94		-144		Ti		Titanio		47.88		-145		Sc		Escandio		44.96		-146		Ca		Calcio		40.08		-147		K		Potasio		39.10		-148		Rb		Rubidio		85.47		-149		Sr		Estroncio		87.62		-150		Y		Yttrio		88.91		-151		Zr		Zircónio		91.22		-152		Nb		Níobio		92.91		-153		Mo		Molibdeno		95.94		-154		Tc		Tecnecio		(98)		-155		Ru		Rutenio		101.1		-156		Rh		Rodio		102.9		-157		Pd		Paladio		106.4		-158		Ag		Plata		107.9		-159		Cd		Cadmio		112.4		-160		In		Indio		114.8		-161		Sn		Estadío		118.7		-162		Sb		Antimonio		121.8		-163		Te		Telurio		127.6		-164		Xe		Xenón		131.3		-165		Kr		Kriptón		83.80		-166		Rn		Radón		(222)		-167		Po		Polonio		(	



La Tabla es hija indirecta de los esfuerzos organizativos del Congreso de Karlsruhe y de las brillantes ideas de Cannizzaro.

Mendeleyev estaba realizando parte de sus estudios en química en la ciudad alemana de Heidelberg cuando se convocó el congreso. Allí se codeó con varios químicos importantes, como Richard Erlenmeyer (creador del frasco cónico, que es un verdadero icono del laboratorio químico) y Robert Bunsen (creador del igualmente famoso mechero Bunsen). Mendeleyev volvió a San Petersburgo en febrero de 1861,<sup>37</sup> cinco días antes de que el zar Alejandro II emitiera el Manifiesto de Emancipación de los Siervos, la primera de una serie de reformas que transformarían a la Rusia feudal en un Estado europeo más moderno. Dimitri había de encontrar muchas oportunidades en esa nueva sociedad, la que también ayudó a ordenar. El mundo de los elementos químicos no era el único que requería de un profundo esfuerzo organizativo.

### Ordenar para explicar

Recién llegado de Alemania, Mendeleyev no tenía un peso partido al medio. Para ganarse unos rublos, se puso a escribir un libro de química orgánica, y le fue

<sup>37</sup> Ésta es la fecha de acuerdo con el calendario gregoriano en uso actual. En esa época, Rusia todavía usaba el calendario juliano, que (en ese entonces) estaba adelantado doce días.

de maravillas. Pronto consiguió un puesto de profesor en la Universidad de San Petersburgo y en 1867 se hizo cargo de la cátedra básica de Química General e Inorgánica. Descubrió que no existían buenos libros actualizados de química general en ruso, de modo que decidió escribir un libro él mismo para que lo pudieran usar sus alumnos universitarios. Cuando comenzó a abordar el mundo de las sustancias inorgánicas y el de los elementos que las componen, advirtió que el tema era demasiado vasto y que necesitaba desesperadamente algún criterio organizador que le permitiera transmitir con eficacia los conceptos y la enorme cantidad de información relevante.

En más o menos un año había logrado lo que se había propuesto: un recurso ordenador que le permitiera enseñar mejor: la Tabla. Desarrolló, primero, una versión cruda que contenía los elementos más livianos. Enseguida, advirtió que lo que tenía entre manos era mucho más que lo que había pensado originariamente, que revelaba un orden fundamental del Universo. Se apresuró entonces a publicarla para la comunidad científica y se dedicó a investigar a fondo cómo incluir todos los elementos en ella, a pulirle los bordes. Esta tarea le llevaría casi diez años. De modo que el origen de la Tabla no es otro que una simple y sencilla necesidad pedagógica.

## La génesis de la Tabla

Nadie sabe bien cómo se le ocurrió la idea de la Tabla a Mendeleyev. Existe una versión según la cual todo ocurrió en el transcurso de un día (miércoles 17 de febrero de 1869), en el que Mendeleyev escribió los símbolos químicos de todos los elementos hasta entonces conocidos en tarjetas de cartulina, y que después se dedicó a jugar algo así como "solitarios" con cartas químicas. En una de esas, dice la leyenda, le salió la Tabla. Esta versión no goza de mucho crédito entre los historiadores. Como con Dalton, la reconstrucción del proceso de pensamiento de Mendeleyev es difícil. En este libro sólo plantearemos una forma en la que *pudo* haber procedido, a los fines simplemente de entender la lógica de la Tabla y sin pretender que la descripción se ajuste a lo que realmente sucedió. Al mismo tiempo, vamos a tratar de ver a vuelo de pájaro en qué consiste esta famosa Tabla.

En primer lugar, ¿cuáles son esos elementos que había que clasificar? Cuando Lavoisier introdujo la idea de elemento químico, confeccionó una lista de 33 elementos, de los cuales sólo 23 se consideran aún como tales. Hacia la época del Congreso de Karlsruhe la lista ya tenía 49 elementos. La Tabla moderna contiene 92 elementos que se encuentran en la naturaleza y muchos otros sintetizados en laboratorios (generalmente usando aceleradores de partículas y consiguiendo las exiguas cantidades de uno o dos átomos); en 2006, por ejemplo, se logró sintetizar el elemento número 118. Pero en la

época en que Mendeleyev atacó el problema, debía poner orden a un conjunto de tan sólo 62 elementos. El no tener el juego completo de elementos presentó varios problemas a Mendeleyev y es un tributo a su genio que los haya resuelto. En particular, señalemos que ninguno de los elementos de la última columna (los gases nobles) se conocían en ese entonces.

Mendeleyev conocía muy bien los elementos que quería clasificar: era un verdadero erudito de la química. Sabía que los elementos vienen en familias con propiedades similares y este conocimiento jugó un papel central en la elaboración de la Tabla. Antes que él, muchos otros pensadores habían clasificado los elementos en grupos por semejanzas químicas. De hecho, hasta existían versiones previas de la Tabla, aunque el ruso no estaba muy al tanto de éstas. Además de los agrupamientos por afinidad de propiedades, el otro concepto rector del pensamiento de Mendeleyev fue el de peso atómico. Mendeleyev creía firmemente que el *peso atómico* era la propiedad definitoria de los elementos, de la cual dependían las demás. Esta gigantesca fe en la importancia central del peso atómico es, sin duda, un legado de la potencia de las ideas de Cannizzaro.

La Tabla actual refleja esos dos criterios centrales. La Tabla se lee de izquierda a derecha y de arriba abajo, como cualquier texto castellano. Cada elemento químico tiene un casillero. Los elementos están ordenados, salvo raras excepciones que discutiremos enseguida, en orden creciente de peso atómico, de modo que el hidrógeno

es el primer elemento de la Tabla en la esquina superior izquierda. Los elementos en una misma columna tienen propiedades químicas similares, son las familias que Mendeleev conocía bien. Por ejemplo, la primera columna, de la que el litio es el elemento paradigmático, contiene la familia de los "metales alcalinos". Estos metales brillan como los otros, pero por lo general son mucho más blandos y terriblemente más reactivos. Por ejemplo, si ponemos un pedazo de sodio en agua, el metal empieza a efervecer violentamente y, por lo común, estalla en llamas. No es lo que se espera de un pedazo de hierro o plata. No todas las filas tienen el mismo número de columnas; a medida que avanzamos en la Tabla, el número de columnas aumenta en varias ocasiones. Esto hace a la Tabla parecer más complicada, pero la idea fundamental se encuentra en la noción de que las columnas contienen elementos con características similares. En la Tabla hay otras bellezas que veremos pronto.

Las familias químicas reconocidas en la época de Mendeleev contenían elementos con la misma valencia. Así, los elementos de la familia de metales alcalinos que mencionamos más arriba tienen todos una valencia de 1, es decir, tienen un solo punto de unión con otros átomos. Otra familia de elementos era la de los "alcalino-térreos", también metales muy reactivos, pero en menor medida que sus primos los alcalinos. Esta otra familia reúne elementos con valencia de 2. Algunas familias son difíciles de establecer. Por ejemplo, hay una llamada de elemen-

tos halógenos que contiene dos gases venenosos (flúor y cloro), un líquido (bromo) y un sólido violeta (yodo). Pero todos ellos forman sales parecidas cuando reaccionan con otros elementos, y además todos tienen generalmente una valencia de 1.

Mendeleev notó que, si nos concentramos en el peso atómico, vemos que a cada miembro de una familia le sigue, por lo general, un elemento de otra familia. Es decir, cada familia tiene una familia vecina. Y más aún, a los elementos de la familia de los alcalinos (valencia 1) le sigue siempre un elemento de la familia de los alcalino-térreos (valencia 2). Por ejemplo, al sodio le sigue el magnesio, al potasio le sigue el calcio. A ellos sigue generalmente un elemento con valencia de 3; a éstos, uno con valencia de 4; luego elementos con valencia de 3 otra vez; luego de 2 y finalmente de 1.

De este modo, Mendeleev logró armar una tabla (al principio provisoria) en la que los elementos estuvieron ordenados por peso atómico creciente, y en la que, a la vez, cada columna contenía elementos con la misma valencia. No sólo eso, resultó que las valencias tenían un elegante patrón de sube-y-baja: valencias de 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1. Usando la Tabla actual, vemos lo siguiente:

Elemento	Litio	Berilio	Boro	Carbono	Nitrógeno	Oxígeno	Flúor
Peso atómico	6,9	9,0	0,8	12,0	14,0	16,0	19,0
Valencia	1	2	3	4	3	2	1

Esto quiere decir que, si uno va observando los elementos uno a uno en orden creciente de pesos atómicos, ve que las propiedades se repiten con cierto ritmo: después de un halógeno (como el flúor o el cloro) siempre viene un metal alcalino, después de un metal alcalino siempre viene un metal alcalino-térreo. Esta repetición de propiedades es a lo que alude la palabra "periódico". Es como decir que siempre después de un lunes viene un martes, o que siempre después de un "re" viene un "mi",<sup>38</sup> o que después del otoño vienen los fríos.

Una vez que Mendeleev "vio" este patrón, empezó a tratar de acomodar todos los datos a su disposición dentro del esquema. Como veremos, esto no resultó una tarea sencilla. Lo interesante de la historia es cómo Mendeleev resolvió esos problemas.

### Elementos que no encajaban

No todos los elementos caían perfectamente en el lugar adecuado. Determinar "el lugar" de un elemento no era una tarea trivial; por un lado, porque las propiedades

<sup>38</sup> Las dos primeras repeticiones de la Tabla tenían en ese entonces 7 elementos (el octavo es parecido al primero); esto sugirió al científico inglés John Newlands lo que designó (en anticipación al trabajo de Mendeleev) como la Ley de Octavas. Esa comparación con la música le valió la infundada ridiculización de la comunidad científica.

de los elementos no son tan fáciles de analizar y no siempre dan familias de elementos perfectamente delimitadas y, por otro lado, porque muchas veces seguían existiendo dudas acerca de la exactitud de los pesos atómicos calculados.

Frente a esta situación, Mendeleev tenía varias alternativas. Podía desechar la idea misma de que las propiedades de los elementos se repetían de manera periódica; en otras palabras, tirar la Tabla a la basura. Podía cuestionar la verosimilitud de las propiedades de los elementos tal como eran conocidas en ese entonces. O podía poner en tela de juicio los números publicados de los pesos atómicos de los diferentes elementos.

Obviamente, la primera opción no estaba abierta psicológicamente a Mendeleev, porque uno siempre ama el producto de su propia creación. Además, porque ¿cuál es la gracia de darse por vencido de entrada? La segunda opción tampoco era viable, porque Mendeleev conocía muy bien las propiedades químicas de los elementos en el laboratorio y tenía un *feeling* muy profundo de cada elemento. De modo que atacó el único flanco abierto: los pesos atómicos de los elementos que no encajaban debían estar mal calculados.

¿Cómo es esto posible? Los elementos más livianos (los primeros de la Tabla) forman sustancias gaseosas o volátiles, las cuales pueden ser analizadas por el método Cannizzaro. Pero el lector sagaz habrá notado que el método del italiano no sirve si las sustancias que forman un elemento son todas líquidas o sólidas, como es

el caso, por ejemplo, de la mayoría de los metales. Para los metales se usaba un descubrimiento curioso que realizaron los franceses Pierre-Louis Dulong y Alexis Petit (en 1819). Resulta que cada sustancia necesita una cantidad de calor (medido en calorías) diferente para ser calentado un grado centígrado. Si uno multiplica esta cantidad de calor para cada elemento por su peso atómico, el resultado es siempre 6 o cercano a 6. Parece raro, ¿no? Muy raro, pero a la vez muy útil, y recibe el nombre de Ley de Dulong y Petit, obviamente. Este sistema había provisto de cifras para los pesos atómicos de los metales conocidos.

Uno de los elementos que causaban dolores de cabeza a Mendeleev era nada más ni nada menos que el berilio, uno de los primeros de la Tabla. El método de Dulong y Petit daba un peso atómico de 14.6. Esto colocaba al berilio muy cerca del nitrógeno, pero donde no encajaba en ningún casillero. El berilio es un metal que se parece más a los elementos del lado izquierdo de la Tabla, mientras que el nitrógeno está en el costado derecho. Mendeleev se valió de algunos trucos astutos y propuso que el berilio debía tener una valencia de 2 y que, de acuerdo con la composición de sus óxidos, su peso atómico debía ser alrededor de 9, lo cual lo movía al costado izquierdo de la Tabla. Esto equivalía a argüir que la Ley de Dulong y Petit no se aplicaba a este caso, y que la estructura de su Tabla (un ente teórico) debía tomar precedencia frente a una ley experimental. Ésta era una propuesta audaz. Como resultado, el berilio debía

ir inmediatamente después del litio, encabezando la columna número dos. Determinaciones posteriores establecieron que el hechicero ruso tenía razón y ahí es donde está el berilio ahora, lo más pancho.

De manera similar, Mendeleev "corrigió" los pesos del uranio, el titanio, el platino, el oro, el cobalto, el níquel y el potasio.

### Yodo y telurio: los "errores" pertinaces

Mendeleev también postuló que los pesos atómicos del yodo y del telurio debían estar mal. Según los cálculos de la época el yodo era más liviano que el telurio y debería precederlo en la Tabla, pero sus propiedades químicas ponían claramente al telurio en la columna 6 y al yodo en la columna 7, lo cual sugería que el telurio debía ser más liviano que el yodo y no viceversa. A pesar de eso, la historia no le dio la razón a Mendeleev en este caso. El yodo es definitivamente más liviano que el telurio. Pero esto quiere decir que no siempre en la Tabla Periódica los elementos van en estricto orden creciente de pesos atómicos. A veces hay que invertir un par para que la Tabla conserve su estructura. Mucho más tarde fue posible establecer que el orden en la Tabla no responde al peso atómico sino a otra cantidad (el número atómico, o cantidad de protones, medido por primera vez por el inglés Henry Moseley). Si se tiene en cuenta el *número* ató-

mico en vez del peso atómico, el orden de la Tabla resulta perfecto. Yodo y telurio no son los únicos elementos que aparecen "desordenados"; otros "pares invertidos" están constituidos por las duplas níquel-cobalto y argón-potasio.

Existen versiones de que Mendeleev astutamente invirtió el orden de estos elementos y, por lo tanto, "desordenó" la Tabla, priorizando consistencia interna sobre orden estricto de pesos atómicos. Esto no es cierto. Mendeleev basó sus "inversiones" en proponer que los pesos atómicos de esos elementos estaban mal determinados. La idea de una inversión le resultaba difícil de digerir, aun con Alka-Seltzer.

## Predicciones

El otro problema que tenía la Tabla en sus etapas tempranas era que, si uno se fijaba en las propiedades químicas para establecer las columnas, entonces quedaban obvios huecos sin rellenar. Por ejemplo, el elemento inmediatamente más pesado que el zinc era entonces el arsénico, el cual, de acuerdo con sus propiedades, debía estar debajo del fósforo, y no del aluminio ni del silicio. Esto dejaba dos agujeros en la Tabla.

En vez de intimidarse por esta dificultad, Mendeleev la dio vuelta como un panqueque y convirtió astutamente problema en oportunidad. Dijo: "Acá lo que pasa es que hay dos elementos que *todavía no se descubrie-*

*ron*". Y no satisfecho con esto, pasó a predecir con precisión fantasmagórica las propiedades que estos elementos debían tener. Para empezar, el elemento justo debajo del aluminio debía tener una valencia de 3, porque pertenece a la columna con valencia 3. Además, debía tener un peso atómico algo mayor que el del zinc. Para calcular exactamente el peso atómico del elemento faltante, Mendeleev procedió a calcular el promedio de los pesos atómicos de los elementos a la izquierda y derecha y arriba y abajo del elemento incógnita. Esta técnica la usó no sólo para interpolar el valor del peso atómico sino el de muchas otras propiedades, como la densidad. Para demostrar que esta técnica servía, Mendeleev la probó primero para calcular el peso atómico de un elemento conocido; eligió para esto el selenio. El lector puede confirmar que el promedio de los cuatro elementos rodeando al selenio (azufre, arsénico, bromo y telurio), en efecto, "da" el peso atómico del selenio. Sorprendentemente, sin embargo, los números que Mendeleev ofreció como predicciones no siempre eran los que se obtienen con esta técnica; los números de Mendeleev son mejores, pero nadie sabe aún cómo demonios se las arregló para calcularlos. Algo de brujo tenía.

El misterioso pensador hizo, primero, tres predicciones de suma precisión en 1871, incluyendo pesos atómicos, densidades del estado elemental, fórmula de los óxidos e hidróxidos, algunas propiedades de sus sales y punto de fusión aproximado. En 1875, un químico francés aisló el galio y caracterizó sus propiedades. La co-

munidad científica toda advirtió con estupor que estas propiedades coincidían en casi todos sus detalles con uno de los elementos predichos por Mendeleyev. En 1879, un químico sueco identificó el escandio, otra de las profecías del brujo eslavo. La tercera profecía se cumplió en 1886: el elemento fue encontrado por un alemán y bautizado germanio.

Un éxito de ese calibre, con predicciones tan precisas y detalladas, ejerce una atracción irresistible para los científicos. Mendeleyev adquirió bastante fama con su logro. Envalentonado, se lanzó a hacer más predicciones, esta vez con menos tino, o quizá simplemente con menos suerte. Predijo los elementos "x" e "y" de pesos atómicos menores que el hidrógeno.<sup>39</sup> Estos elementos jamás fueron aislados y el desarrollo de la teoría atómica moderna, de acuerdo con el estudio de la estructura interna del átomo, nos advierte que la búsqueda es vana: jamás serán encontrados. Mendeleyev predijo otros cinco elementos que nunca fueron aislados. Aunque también predijo la existencia de otros cinco con mejores resultados (tecnecio, rhenio, polonio, francio y protactinio).

A pesar de que el número de "pifíes" es significativo, la comunidad científica ha reconocido que la capacidad de formular predicciones exitosas de alta precisión habla de la enorme credibilidad de la Tabla. Hay algo con

<sup>39</sup> Mendeleyev sostenía que el primero de esos elementos era el "éter lumínico", al que bautizó newtonio.

esa Tabla, algo que habla de la estructura profunda del Universo.

Hemos dicho que una teoría científica debe poder acomodar los datos disponibles en el momento de ser formulada. Debe poder, también, formular predicciones que puedan ser puestas a prueba. Si bien la Tabla no es en sí una "teoría", es una construcción científica abstracta que comparte atributos con las teorías clásicas. Estos dos son claramente algunos de esos atributos, ya que la Tabla acomodó elegantemente en su estructura una enorme cantidad de elementos y luego permitió la predicción de otros nuevos. Otro de los atributos de una teoría, que mencionamos en capítulos anteriores, es la capacidad de acomodar datos obtenidos después de que la teoría fue formulada. Aquí es donde la Tabla no sólo vuelve a parecerse a una teoría, sino que es además donde tuvo su mayor momento de gloria.

Todo comenzó...

## Los gases nobles

... cuando John Strutt, mejor conocido como lord Rayleigh, decidió realizar mediciones de la densidad del nitrógeno, principal componente de la atmósfera.

Para llevar esto a cabo, Rayleigh obtuvo muestras de nitrógeno por diversos métodos. Encontró que su densidad dependía del modo de obtención del gas. Uno de los métodos consistía en tomar una muestra de aire y des-

pojarla de oxígeno mediante reacciones químicas. Otro consistía en realizar una reacción química que liberase nitrógeno. El nitrógeno obtenido químicamente es consistentemente menos denso que el nitrógeno de la atmósfera.<sup>40</sup> Rayleigh no desestimó esta anomalía. Como buen científico, tuvo la sagacidad de preguntarse: ¿pero por qué? Para contestar esta pregunta, recurrió a la ayuda de colegas químicos. Un tal William Ramsay respondió el pedido.

Se les ocurrió entonces a Ramsay y Rayleigh que quizá la muestra atmosférica contuviera otro gas, hasta el momento desconocido, de mayor densidad que el nitrógeno mismo. Acumularon evidencia de que así era y bautizaron al nuevo gas con el nombre de "argón" (palabra que viene del griego, y significa inactivo o perezoso). Inmediatamente, tropezaron con nuevos problemas. Al querer caracterizar las propiedades químicas del argón, encontraron que no tenía ninguna! El nuevo gas no reaccionaba con nada. Con la ayuda de estudios físicos lograron establecer que la molécula de argón contenía un solo átomo o, dicho de otra manera, que constaba de átomos sueltos. No sólo este elemento no se combinaba con otros... ¡tampoco se combinaba consigo mismo!

<sup>40</sup> La diferencia entre densidades obtenida por Rayleigh era del 0,4%. Comparándola con los datos de Gay-Lussac y Dalton de capítulos anteriores, podemos adivinar que Rayleigh trabajó con un grado muchísimo mayor de precisión para poder advertir significativamente diferencias tan pequeñas.

Su peso atómico parecía ser de alrededor de 40. Publicaron sus resultados en 1895.

Todo esto fue recibido con enorme escepticismo por la comunidad científica. ¿Qué es esto de un gas totalmente inerte? ¿Cómo saben que está puro y no es una mezcla de diferentes gases? ¿Cómo saben que es un elemento y no un compuesto terriblemente difícil de descomponer?<sup>41</sup> Y todavía peor: ¿dónde demonios encaja este elemento inerte en la Tabla Periódica? Mendeleyev no quería saber nada de nada con el argón.

Ramsay no se dio por vencido. Siguió buscando otros gases similares. Y pronto los encontró. Los bautizó helio, criptón, neón y xenón. Todos eran inertes químicamente. Todos parecían estar constituidos por átomos libres (moléculas monoatómicas). Ninguno parecía encontrar su lugar en la Tabla.

Finalmente, Ramsay tuvo su idea brillante. En 1900 se comunicó con Mendeleyev para sugerirle que todos esos elementos nuevos podían acomodarse perfectamente como una nueva columna entre los gases halógenos y los metales alcalinos. No sólo había lugar y los pesos atómicos coincidían perfectamente, sino que su inclusión le daba a la Tabla una completud absoluta en el patrón de subidas y bajadas del número de valencia. Empezando por la izquierda, tenemos valencia de 1, 2, 3, 4, y luego un descenso de 3, 2, 1. ¡Ahora la nueva co-

<sup>41</sup> Muchos propusieron que se trataba de  $N_2$ .



lumna agregaba la valencia cero! Una valencia cero obviamente corresponde a elementos que carecen totalmente de capacidad de combinación.<sup>42</sup>

Los gases nobles fueron un horrible dolor de cabeza para Mendeleev y su Tabla por varios años, pero la acomodación de Ramsay en una nueva columna no sólo resolvió el problema sino que produjo uno de los respaldos más sólidos y formidables a la increíble estructura levantada por Mendeleev. Rayleigh ganó el Premio Nobel de Física por su descubrimiento del argón y Ramsay el Nobel de Química por los demás gases nobles y su lugar en la Tabla.

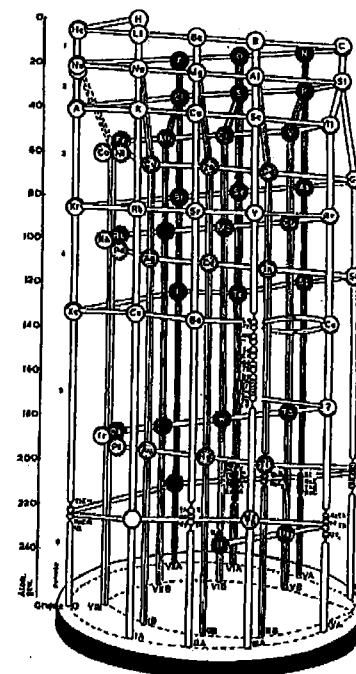
### Evoluciones de la Tabla

Uno tiende a pensar en la Tabla Periódica como la ve ahora y como se la ve en la figura que incluimos al inicio de este capítulo. Pero la Tabla no es una cosa de la realidad, como el aire y el agua, sino una forma de ordenar los elementos. La Tabla sufrió importantes

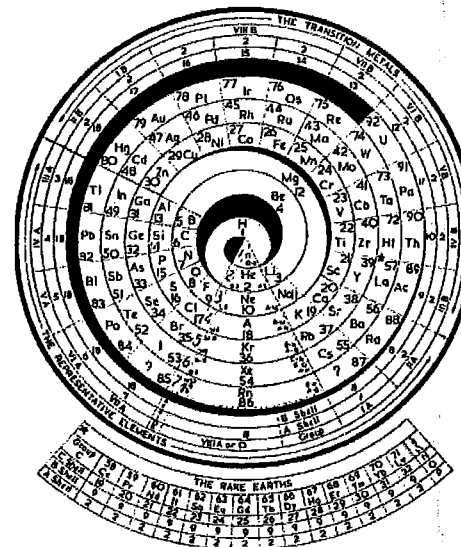
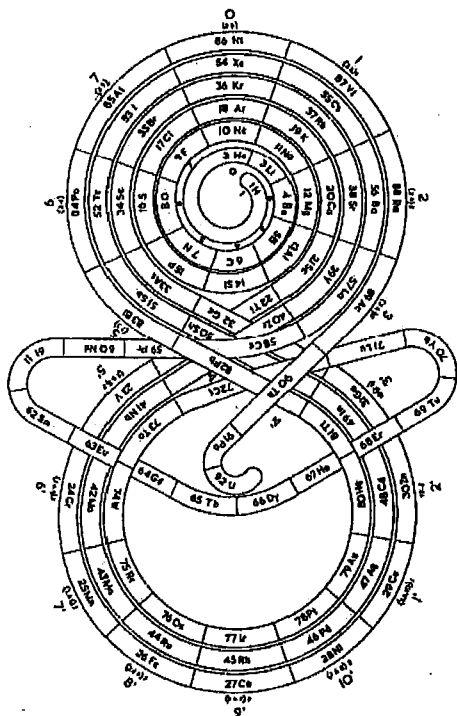
<sup>42</sup> Esto no es estrictamente cierto. Existen algunos compuestos de gases nobles. Por ejemplo, el tetrafluoruro de xenón es un sólido cristalino que puede prepararse fácilmente a partir de sus elementos. Pero estos compuestos son más la excepción que la regla. Para más detalles puede consultarse el artículo "The Chemistry of Noble Gases - A modern Case History in Experimental Science" de H. Hein y G. E. Hein (1966), *Journal of the History of Ideas*, 27 (3), pp. 417-428.

cambios en el tiempo, y hasta admite muy diferentes formas de ser representada. Ni siquiera existe una "Tabla definitiva" porque los científicos y educadores siguen proponiendo nuevas maneras de ordenar y presentar las cosas.

Algunas de estas representaciones son verdaderamente ingeniosas: en espiral, en ocho, en tres dimensiones, en forma de cohete. Algunas incluso forman gru-



pos de elementos que no son los tradicionales. Contemplar las tablas alternativas que se incluyen en estas páginas nos recuerda hasta qué punto eso que hemos aprendido a aceptar como un emblema de la ciencia química es sólo una forma de presentar un complejo conjunto de fenómenos.



## Nuevos rumbos

Además de acomodar y predecir, dijimos que una teoría apunta a nuevas direcciones, da a los científicos la flecha de nuevos rumbos. La Tabla Periódica, nuevamente, en esto se parece mucho a una teoría. La pregunta clave, y sencilla, es: ¿por qué tiene la Tabla la estructura que tiene? ¿Qué hay en los átomos que hacen que a medida que aumenta el peso atómico, la valencia suba y baje? ¿Qué característica de los átomos hace que las propiedades se repitan de manera cíclica?

Para contestar esas preguntas, la ciencia habría de adentrarse en la estructura misma del átomo, una odisea increíble y fascinante, pero más allá de las fronteras de este libro.

Noveno interludio

## Un brindis por la taxonomía

Entre algunos científicos, tales como físicos, químicos e incluso biólogos moleculares, no es raro escuchar palabras de menosprecio para con la taxonomía, la ciencia de clasificar, a la que se refieren como un mero “coleccionar de estampillas”. Pero la taxonomía es algo más complejo, más profundo y más útil que el mero coleccionar.

El clasificar implica imponer un orden a un universo de entidades. Muchos sistemas clasificatorios persiguen un fin meramente práctico: nadie duda de la utilidad del orden en un sistema alfabético de archivos. Muchas clasificaciones de plantas, minerales y sustancias químicas perseguían este propósito, y se ordenaban los entes de acuerdo con su uso: en medicina, en textilería, en alimentos, etcétera.

Otros sistemas de clasificación, llamados “naturales”, buscan determinar un orden que refleje de alguna manera características intrínsecas de los objetos a clasificar. Este tipo de clasificación es, entonces, una representación de un orden que existe en la naturaleza y es externo a las decisiones arbitrarias de nuestra conveniencia.

Por supuesto, es discutible hasta qué punto la mente descubre o impone ese orden sobre el caos.

La clasificación "lineana" comenzó con Karl Linneo en el 1700, pero no tomó su forma actual hasta mucho tiempo después, con las contribuciones de George Cuvier y otros naturalistas. Esta clasificación buscaba desentrañar el orden divino de la creación y, en ese sentido, buscaba encontrar la lógica del diseño que Dios había impuesto al Universo.

Más allá del ánimo religioso de ciertas aventuras científicas, lo cierto es que muchas mentes dedican formidables esfuerzos de intuición e imaginación a percibir el orden en las cosas. La clasificación es una de las formas de orden, pero hay otras. Las leyes naturales describen patrones matemáticos que rigen el comportamiento de ciertos sistemas: por ejemplo, que un gas se expande al calentarse y que existe una relación matemática precisa entre el incremento de temperatura y el crecimiento del volumen ocupado por el gas. La naturaleza presenta todo tipo de patrones que llaman la atención de científicos y no científicos, como las formas simétricas de las flores o piñas, las vueltas de un caracol o la disposición de las facetas en un cristal.

Los patrones y regularidades pueden resultar fascinantes y despertar esa sensación de que uno está a punto de develar un misterio realmente trascendente, de orden místico. ¿Por qué la naturaleza habría de seguir precisas fórmulas matemáticas, por qué es posible describirla con esa simpleza y economía de recursos?

A veces la belleza de un patrón, de un simple y abarcativo acto de explicación nos deja perplejos, literalmente sin aliento. A veces el orden mismo es de absoluta belleza. El neurólogo Oliver Sacks habla de la belleza que encontró desde niño en la Tabla Periódica. Proust sentía que había descubierto una mano invisible que controla la "balanza de la naturaleza", y Gay-Lussac deseaba más que nada encontrar una ley natural que llevara su nombre.

Pero los patrones y regularidades, apenas nos conducen a ese umbral con lo misterioso, nos piden a gritos que lo expliquemos. ¿Por qué las plantas y animales pueden ser clasificados de esa manera? ¿Se trata del plan divino? ¿Por qué los elementos químicos pueden organizarse en forma de tabla? ¿Por qué esa forma, por qué hay un agujero en el medio, por qué algunas filas tienen ocho elementos y otras más, por qué la valencia suba y baje?

La clasificación de los seres vivos tiene un patrón de grupos dentro de grupos. Los vertebrados contienen a las aves y los mamíferos; los mamíferos contienen, entre otros, a carnívoros y roedores; los carnívoros contienen a felinos y cánidos; los felinos a leones, gatos y tigres. Cada grupo tiene subgrupos. Esta organización puede graficarse también en forma de árbol, con los grupos "madre" en forma de ramas gruesas y los subgrupos como ramificaciones sucesivas. ¿Por qué esta disposición? Fue Darwin quien estableció una explicación satisfactoria de este patrón.

Los grupos de especies relacionadas, propuso Darwin, tienen un ancestro común; los ancestros comunes de varios grupos, a su vez, tienen su propio ancestro común. Todos los seres vivos descienden de un único ancestro en el pasado profundo y, como en una familia normal, nos parecemos más a nuestros hermanos y un poco menos a nuestros primos.

Muchos científicos del siglo xx dedicaron sus esfuerzos a comprender los orígenes del patrón que exhibe la Tabla Periódica. Niels Bohr fue uno de ellos. La respuesta, nos dicen, tiene que estar en la organización de los electrones alrededor del núcleo y cómo estos son capaces, o no, de establecer lazos con otros átomos. Y a pesar de que la mecánica cuántica ofrece ideas poderosas al respecto, el tema es todavía motivo de investigación.

Lo que sí es cierto es que la clasificación, como una honorable clase de cacería de patrones en la naturaleza, es una fructífera y rigurosa actividad científica. Nos llena de nuevos misterios a explorar.

## Capítulo 10

### Sí, pero... ¿existen?

He sido conducido al santuario de la diminutez y el poder, donde las moléculas obedecen las leyes de su existencia, chocan entre sí en feroces colisiones o luchan en abrazos aún más feroces, construyendo en secreto las formas de las cosas visibles. ¿Quién me conducirá a esa aún más oculta y tenue región donde el Pensamiento esposa al Hecho?  
JAMES CLERK MAXWELL, 1870

Uno podría pensar que después del Congreso de Karlsruhe, después del establecimiento inequívoco de pesos atómicos, después de la construcción de fórmulas estructurales de átomos conectados, de la idea de valencia o de enlace atómico, después de la monumental Tabla Periódica con cada elemento en su lugar, la comunidad científica adoptaría la idea de átomos como una realidad. Una realidad invisible, pero una realidad al fin. Pero no.

El químico y geólogo norteamericano Sterry Hunt lo expresó así:

¿No estaremos yendo más allá de los límites de la filosofía seria cuando trabajamos con hipótesis sobre partículas duras con espacios vacíos, sobre átomos y moléculas con uniones y conexiones, para explicar afinidades; y cuando le damos forma concreta a nuestra concepción mecánica de las grandes