

EL ENLACE QUIMICO EN EL SIGLO XIX

Por José Luis Villaveces C.

Departamento de Química — Facultad de Ciencias
Universidad Nacional de Colombia

Aunque el título de esta conferencia habla del Siglo XIX, sería exageradamente ambicioso pretender cubrir aquí con detalle el desarrollo de las ideas de los químicos sobre este fundamental problema entre estas dos fechas. Por esta razón es conveniente limitar el tema. En primer lugar no voy a ocuparme de lo mucho que sobre la naturaleza misma del átomo aprendieron los químicos del Siglo XIX, armados con sus probetas, buretas, balanzas y pilas. Tampoco de las muchas controversias que este problema suscitó. Me ocuparé sólo de uno de sus aspectos, el del Enlace Químico, y aún así, sólo de dos grandes sistemas teóricos que dominaron la primera mitad del siglo XIX y que aún subsisten en forma más o menos fosilizada dentro del lenguaje de los químicos de hoy en día, cuando el siglo siguiente toca a su fin. Creo que para estas dos teorías: la Teoría Electroquímica y las Teorías de los tipos de la Química Orgánica es válida, como para algunas otras, la afirmación que hace Partington en el prefacio al volumen IV de su monumental historia de la Química (1).

“Muy pocas de las teorías propuestas en este período han sido completamente descartadas; a veces se logró progresar haciendo énfasis en una de ellas y dejando de lado otra, aparentemente conflictiva, pero prácticamente todas, en una u otra forma, encuentran lugar en la Química Moderna”. En este sentido resultaría falseada la afirmación de muchos de los filósofos de las Ciencias, el más moderno de ellos Sir Karl Popper, de que las teorías progresan porque el enfrentarse a problemas que no pueden resolver, o al encontrarse en desacuerdo con la experiencia son refutadas y reemplazadas por otras que logran resolver estos problemas. Creo que eso no ha pasado en la química.

Estas dos razones: el que esas teorías aún persistan y el que esa persistencia parezca contradecir a algunos de los más prestigiosos filósofos de la

ciencia son para mí dos razones suficientes para hallar interés en el estudio de estos sistemas, tal y como fueron propuestos. Trataré de comunicar a ustedes algo de ese interés en el curso de esta conferencia.

EL PROBLEMA DEL ENLACE QUIMICO

La principal idea, sin ningún lugar a dudas, aparecida en la primera década del siglo XIX en el ámbito de la Química, fue la teoría atómica de Dalton. A pesar de que había tenido muchos predecesores en la antigüedad clásica; Demócrito, Leucipo, Epicuro o Lucrecio; así como también en la edad moderna: Gassendi, Boyle, Newton; en las manos de Dalton esta teoría se hizo instrumento poderoso de explicación de las propiedades químicas de los cuerpos, y dio base teórica a las leyes de conservación de la materia, permitiendo usar la balanza como instrumento de clasificación, de explicación y de predicción de nuevos fenómenos. El poder explicativo y la potencia heurística de este nuevo paradigma resultaron extraordinarios. Fueron muchos los químicos que se lanzaron inmediatamente a medir pesos atómicos, volúmenes de combinación, y otras propiedades. La nueva hipótesis atómica correlacionó fenómenos tan dispares como la ley de los calores específicos de Dulong y Petit, la ley de las proporciones definidas de Proust, o la del isomorfismo de los cristales de Mitscherlich, integrándolas en una visión general, simple y fecunda.

Ahora había átomos, pequeños corpúsculos invisibles que se combinaban en proporciones sencillas, y de cuyas combinaciones surgía toda la inmensa complejidad de la naturaleza. Las reacciones químicas eran simples recombinaciones de átomos con lo cual se explicaba con un modelo mecánico simple y sumamente fácil de visualizar las transformaciones de las sustancias, que desde la prehistoria habían atraído la atención de los hom-

bres y estimulado su imaginación, dando lugar a todo tipo de explicaciones, desde las puramente antropomórficas hasta las definitivamente mágicas.

En 1813 se podía afirmar que los átomos son esféricos y del mismo tamaño; que los cuerpos son agregados de átomos (12), que los átomos compuestos no pueden ser esféricos, sino lineales o tridimensionales". Se empezó a hablar de átomos compuestos, formados por dos átomos y de algunos aún más complejos. El modelo era simple y claro. Pero algunos empezaron a preguntarse qué fuerza era la que mantenía unidos a los átomos en los átomos compuestos. He ahí el problema del enlace químico: No bastaba con describir las transformaciones químicas mediante la reordenación de los átomos simples para dar fuerza a otros tipos de átomos. Había también que explicar cuál era la fuerza que daba tan enorme coherencia a esos arreglos de átomos. Cuál era la fuerza que le daba toda la estabilidad al mundo material, qué hacía que los átomos se unieran unos a otros en forma estable y no fueran simples agregados de esferitas que rodaran unas sobre las otras en forma totalmente caótica, como granos de arena arrastrados por el viento. Si los átomos constituyeron en esos días el ladrillo con el cual podía construirse el edificio de la naturaleza, la cuestión del enlace químico indagaba por el cemento que daba estabilidad a este edificio.

LA TEORIA ELECTROQUIMICA

Antecedentes:

En 1791, Galvani era profesor de anatomía en Bolonia, cuando publicó un artículo intitulado: "De Viribus Electricitatis in Motu Muscularis Commentarius", en el cual decía que:

1. Cuando el nervio tenso de una rana disecada se toca con un escalpelo o una varilla de hierro (pero no de vidrio) y al mismo tiempo se hace saltar una chispa de una máquina eléctrica en la vecindad.
2. Cuando cae un rayo o pasan nubes tormentosas cerca de un alambre conectado a las patas de la rana.
3. Cuando los músculos o los nervios son tocados simultáneamente con un arco metálico o mejor, con un arco compuesto de dos metales (hierro y cobre o plata).

Entonces, los músculos de la rana se contraen" (3).

Galvani suponía que estos resultados se debían a la "electricidad animal", que era idéntica a los espíritus vitales" que vienen del cerebro, y que los músculos interior y exterior de las patas de la rana formaban una especie de condensador o botella de Leyden pequeño, mientras que el nervio se comportaba como lo hace un conductor frente a la botella. La "electricidad animal" dio en llamarse "gal-

vanismo", nombre con que se conoció a la corriente eléctrica durante muchos años.

La suposición de Galvani equivalía a pensar que el movimiento muscular se debía al paso de un fluido peculiar desde los nervios hasta los músculos, actuando el arco como un conductor de tal fluido, que Galvani identificó con el fluido eléctrico ordinario.

Volta se interesó por el tema y en un principio aceptó la hipótesis de la "electricidad animal", pero pronto se convenció de que no había ninguna fuerza vital involucrada en el fenómeno sino que todos los efectos se debían a la electricidad común y corriente. Antes de interesarse por el galvanismo, él había inventado el electróforo en 1775, y en 1782 el "condensador de electricidad", que había usado para detectar cargas eléctricas pequeñísimas. En 1787 describió un electroscopio de láminas colgantes, similar al que había inventado Abraham Bennett unos cinco años antes en Berforshire, quien lo combinó con un condensador para formar el electrómetro condensador o "duplicador". Parece haber sido el primero en observar la electrificación de los metales por contacto, cuando halló que si una de las placas del "duplicador" se toca con una navaja de acero y la otra con un alambre de hierro dulce, aparece una carga pequeñísima.

Volta, después de haber aceptado las ideas de Galvani, comenzó a pensar que la rana de Galvani, más que una Botella de Leyden, era un detector de electricidad sumamente sensible. La prueba de que esto era así, la obtuvo al envolver dos láminas de papel de estaño alrededor del nervio crural de una rana y hacer pasar una débil descarga eléctrica entre ellas.

En 1792, J. C. Reil, profesor de Medicina en Halle sugirió que el fenómeno observado por Galvani se debía a la electricidad común, excitada por el contacto entre los dos metales y que, el músculo no era más que un electroscopio sensible.

En el mismo año, en dos cartas, del 13 de septiembre y del 25 de octubre, Volta dice que la rana servía sólo como un electroscopio muy sensible para detectar la electricidad desarrollada cuando dos metales de diferentes clases se aplican a los cuerpos húmedos de los animales. La Ley de Galvani no se refiere a una nueva "electricidad animal", sino a la "acción de una electricidad artificial muy débil que se producía en una forma que no se hubiera sospechado (on ne s'etoit pas duoté), por el simple contacto de dos placas metálicas" (4).

El problema consistía ahora en saber por qué se afectaba el equilibrio eléctrico en forma tal que había circulación de fluido de manera incesante entre dos lugares que se unían por un ancho conductor de dos metales diferentes.

De entre las muchas observaciones hechas por Volta en sus esfuerzos por clarificar este fenómeno,

hay otra que vale la pena anotar aquí: al tocarse la lengua con un pedazo de estaño o plomo y otro de oro o plata y colocar los dos en contacto, se siente un sabor ácido, que se nota también cuando la lengua se pone en contacto con la descarga de un conductor electrificado.

Si colocaba el estaño en la punta de la lengua y el oro más adentro, percibía un sabor ácido, mientras que si intercambiaba la posición de los metales, el sabor pasaba a ser alcalino. Volta estudió muchos metales en esa forma y logró clasificarlos en tres grupos en forma tal que el efecto se notaba si metales de diferentes grupos se usaban en los ensayos, pero no si se usaban los del mismo grupo. En 1794, publicó una serie de contacto: Zinc, estaño, plomo, hierro, bronce, cobre, platino, oro, plata, mercurio, grafito y carbón conductor.

Al terminar el siglo, Volta se había convencido ya de que la electricidad se produce por el simple contacto entre los dos metales, y entonces se consagró a tratar de aumentar el efecto, colocando varios metales, el uno a continuación del otro. En una carta fechada el 20 de marzo de 1800 en Como y dirigida a Sir Joseph Banks, presidente de la Royal Society, él describe el efecto de apilar varios elementos metálicos, produciendo un 'organe électrique artificiel' o 'appareil a colonne' formado de un gran número de círculos de cobre y zinc alternados, con una pequeña cartulina mojada intercalada entre las parejas. Es esta la famosa "pila voltáica". El 7 de noviembre de 1801, hizo Volta una presentación pública de su descubrimiento ante el Institut de France, a la cual asistió Napoleón y a raíz de la cual otorgó una medalla de oro al inventor. Si recordamos este hecho aquí, no es exclusivamente por su valor anecdótico, sino, sobre todo, para recordar el ambiente de la época que estamos describiendo: La primera publicación de Galvani se da dos años después de la Revolución Francesa, el mismo año en que fue suspendido el rey de Francia de sus funciones, y poco antes de que la razón fuera entronizada como diosa de Francia. Los experimentos de Volta son contemporáneos del terror, del Directorio, de la generalización de la guerra y del comienzo del período napoleónico. Es el comienzo de la época que va a unificar de nuevo las culturas europeas, tratando incluso de integrarlas en un sólo gran imperio. Racionalismo y universalismo son dos notas predominantes de la época. Detrás de la electricidad por contacto debería haber una explicación racional y universal, que ligara estas manifestaciones de la electricidad con las otras conocidas.

En el mismo año de 1794 en que Volta publicaba su serie de contacto de los metales, Lavoisier era decapitado en Francia. Lavoisier, quien se había acercado más que ninguno de sus predecesores al ideal de unidad y generalidad en la explicación de los innumerables hechos químicos. El había colocado al oxígeno en la base de su nuevo sistema teórico de la Química. Ácidos y álcalis apare-

cían como compuestos binarios con el oxígeno (el "formador de ácidos", como lo había bautizado él mismo).

Aunque las ideas de Lavoisier, provenientes de la Francia revolucionaria, encontraron difícil su difusión al resto de Europa en sus primeros años; Davy en Inglaterra, en 1798 comenzó a estudiar química en la traducción inglesa de los "elementos de química" de Lavoisier. En 1800 publicó un artículo sobre el óxido nítrico, y en el mismo año comenzó a interesarse por el galvanismo. A estas alturas, eran varios los científicos que experimentaban en esta área. Nicholson y Carlisle habían observado la electrólisis del agua. Entre 1800 y 1805, los fenómenos de la electrólisis y sus posibles explicaciones fueron tema de ardúas controversias. Probablemente fue en la conferencia Baker leída ante la Royal Society el 20 de noviembre de 1806, donde Davy logró la primera exposición coherente de los hechos de la electroquímica. A pesar de hallarse Inglaterra y Francia en guerra en ese momento, se otorgó a Davy, por esta conferencia, el premio de 3.000 francos que Napoleón había instituido en 1802.

El primer Cónsul de Francia, al instituir el premio, había declarado que podía ser otorgado a "étrangers de toutes les nations" por "la meilleure expérience qui sera faite dans le cours de chaque année sur le fluide galvanique". La parte que nos interesa de esta conferencia es que en ella, Davy, después de considerar los resultados obtenidos en la electrólisis de muy variados tipos de disoluciones, y de analizar los distintos efectos producidos sobre los electrodos, concluye que la fuerza de combinación no es otra cosa que el efecto del estado eléctrico opuesto de los cuerpos (5).

El enlace químico recibió así la primera explicación física que lo reducía a otro tipo de fuerza general que empezaba a ser conocida en esos días: la electricidad. Habían pasado quince años desde que Galvani publicara el resultado de sus observaciones sobre las convulsiones de las patas de las ranas. Faltaba un ingrediente para lograr la generalización de estas ideas en un sistema profundamente coherente. Otro inglés, el cuáquero JOHN DALTON, trabajando cerca de Manchester y lejos de las sociedades, institutos y academias, había de lograrlo, aprovechando otra idea de Lavoisier: El principio de conservación de la masa. En octubre de 1803 expuso ante siete personas, en una reunión de la Literary and Physical Society de Manchester, su teoría atómica y en 1808 publicó el "New System of Chemical Philosophy", en el cual se encuentra detalladamente expuesta.

Jöns Jakob Berzelius, el químico sueco sería el llamado a hacer la síntesis. En 1812 fue invitado por Berthollet a visitar París, pero estalló la guerra entre Francia y Suecia (siempre el hombre del destino) y en vez de llegar a Francia, fue a Inglaterra.

Allí visitó a Davy, con quien mantuvo correspondencia durante varios años. Guardó las cartas

de Davy empastadas en un volumen en cuyo lomo decía "Humphry Davy, Press. Roy. Soc. Le plus grand chimiste de son siècle", título que muchos otorgan al propio Berzelius.

Berzelius había comenzado a hacer experimentos en electroquímica algunos años antes. La hipótesis de Davy, junto con la serie de contacto de Volta lo impresionaron mucho. En su Tratado de Química (6) nos dice que esta serie "prueba que la electricidad desarrollada por contacto se encuentra en relación con las propiedades químicas de estos metales. En efecto, estos acaban de ser citados en el mismo orden en el cual disminuye su afinidad por el oxígeno, de donde resulta que mientras más se diferencia su afinidad, mayor es la cantidad de electricidad desprendida por su contacto...". Y, en la página siguiente afirma que "el hecho citado, que a primera vista parece tener tan poca importancia no es nada menos que la clave del sistema teórico de la Química actual".

Berzelius desarrolló estas ideas y a partir de ellas formuló su *Teoría Electroquímica del Enlace Químico* (7).

A todo el desarrollo de la electroquímica y de la teoría atómica, el químico sueco añadió la teoría dualista de Lavoisier, quien había visto a los ácidos como compuestos de un radical más oxígeno, a las bases como compuestos de un metal más oxígeno y a las sales como compuestas de una base y un ácido.

LA TEORIA ELECTROQUIMICA DE BERZELIUS

"En nuestro estado actual de conocimientos, la explicación más probable de la combustión y de la ignición que la acompaña es ésta: EN TODAS LAS COMBINACIONES QUIMICAS HAY NEUTRALIZACION DE ELECTRICIDADES OPUESTAS Y ESTA NEUTRALIZACION PRODUCE FUEGO EN LA MISMA FORMA QUE LO PRODUCE CUANDO SE DESCARGA UNA BOTELLA DE LEYDEN, UNA PILA ELECTRICA O UN TRUENO, SIN QUE EN ESTOS ULTIMOS FENOMENOS SE ACOMPAÑE DE COMBINACION QUIMICA..."

"Los experimentos realizados para estudiar las relaciones eléctricas mutuas de los cuerpos nos han mostrado que estos pueden dividirse en dos clases: ELECTROPOSITIVOS y ELÉCTRONEGATIVOS. Los cuerpos simples que pertenezcan a la primera clase, así como sus óxidos, siempre adquieren electricidad positiva cuando se encuentran con cuerpos simples u óxidos pertenecientes a la segunda clase y los óxidos de la primera clase siempre se comportan con los de la segunda como lo hacen las bases salificables con los ácidos" (7).

"Según su carácter, los cuerpos pueden arreglarse en la siguiente serie, que comienza con los más electronegativos: O, S, N, F, Cl, Br, I, Se, P, As, Cr, Mo, W, C, Sb, Te, Ta, Ti, Si, H // Au, Os, Ir, Pt,

Rh, Pd, Hg, Ag, Cu, U, Bi, Sn, Pb, Cd, Co, Ni, Fe, Zn, Ce, Th, Zr, Al, Y, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Li, Na, K".

"De todos los cuerpos, el oxígeno es el más electronegativo. Como nunca es positivo en relación con ningún otro, y como, de acuerdo con todos los fenómenos químicos conocidos hasta el presente, no es probable que algún elemento de nuestro globo pueda ser más electronegativo, reconocemos en él a un negativo absoluto".

"También, en el sistema electroquímico, es el único cuyas relaciones eléctricas son invariables. Los otros varían en el sentido de que un cuerpo pueda ser positivo respecto a un segundo y negativo respecto a un tercero: Por ejemplo, el azufre y el arsénico son positivos respecto al oxígeno y negativos respecto a los metales. Los radicales de los álcalis fijos y de las tierras alcalinas son por el contrario, los cuerpos más electropositivos; pero estos difieren algo en grado y en el extremo positivo de la serie eléctrica no hay ningún cuerpo tan electropositivo como electronegativo es el oxígeno".

"Mientras mayor sea la polaridad de un cuerpo, mayor es su tendencia a combinarse con otros cuerpos, especialmente con aquéllos de polaridad opuesta. El cuerpo más electropositivo, el potasio, se combina con el más electronegativo, el oxígeno, con una fuerza mayor que la de cualquier otra combinación conocida, y esta fuerza no puede ser vencida sino por medios indirectos y mediante la acción simultánea de varios agentes" (9). "Las propiedades de las sustancias oxidadas dependen casi siempre exclusivamente de la unipolaridad de su elemento positivo, es decir, de su radical. El óxido es ordinariamente electronegativo con respecto a otros óxidos cuando su radical es negativo con respecto a sus radicales y viceversa. Por ejemplo, el ácido sulfúrico es electronegativo con respecto a todos los óxidos metálicos por la razón de que el azufre es electronegativo con respecto a todos los metales. Por el contrario, todos los óxidos de potasio y zinc son electropositivos con respecto a toda sustancia oxidada, respecto a cuyo radical sean positivos el potasio y el zinc" (10).

"Lo que llamamos afinidad química, con todos sus cambios, no es otra cosa que la acción de la polaridad eléctrica de las partículas y la electricidad es la primera causa de toda la actividad química... Toda actividad química es básicamente un fenómeno eléctrico, dependiente de la polaridad eléctrica de las partículas".

"Si estos puntos de vista electroquímicos son correctos, se sigue que toda combinación química depende sólo de dos fuerzas opuestas, la electricidad positiva y la negativa y que todo compuesto químico debe estar formado de dos partes combinadas por el efecto de su reacción electroquímica, puesto que no hay una tercera fuerza. De aquí se sigue que toda sustancia compuesta, independientemente del número de sus principios constituyen-

tes, puede ser dividida en dos partes, de las cuales una es eléctricamente positiva y la otra negativa" (11).

En este conjunto de textos vemos lo fundamental de la teoría electroquímica de Berzelius. Para él, todo compuesto químico está formado por dos partes, en una de ellas predomina la electricidad positiva y en la otra la electricidad negativa. La fuerza de atracción entre estas dos electricidades es la responsable del enlace químico.

Sólo el oxígeno es absolutamente electronegativo. Todo otro elemento es electropositivo con respecto a algunos y electronegativo con respecto a otros.

Todos los elementos se combinan con el oxígeno para dar, según la nomenclatura de Lavoisier, compuestos de primer orden. Si el elemento es más electronegativo que el hidrógeno, el compuesto resultante es un ácido. Si es más electropositivo que el hidrógeno, el compuesto es un óxido.

Así, la potasa es el compuesto binario formado por el potasio y el oxígeno, mientras que el ácido sulfúrico es un compuesto binario formado por el azufre y el oxígeno. Los ácidos son muy fuertes cuando su radical tiene una electronegatividad cercana a la del oxígeno. Los óxidos son muy alcalinos cuando su radical es muy electropositivo.

Oxidos y ácidos se combinan entre sí para dar compuestos binarios de segundo orden: Las sales. Así, el sulfato de potasio resulta de la unión del ácido sulfúrico y de la potasa, el sulfato de aluminio proviene de la combinación entre ácido sulfúrico y alúmina.

Las sales así formadas pueden quedar con algún carácter electropositivo o electronegativo, dependiendo de la intensidad relativa del carácter electroquímico de sus dos componentes. Esto permite que dos sales se unan a su vez para formar un compuesto de tercer orden, por ejemplo, el alumbre de aluminio seco que resulta de la unión entre el sulfato de alúmina y el sulfato de potasa.

Finalmente, pueden darse compuestos de cuarto orden, como el alumbre cristalino, que resulta del alumbre seco al unirse con el agua.

La teoría electroquímica de Berzelius es estrictamente dualista: todo compuesto químico debe estar formado de dos partes, una positiva y otra negativa, independientemente del número de sus principios constituyentes. Así, por ejemplo, una sal como el sulfato de potasio no es un compuesto ternario de azufre, potasio y oxígeno, sino un compuesto binario formado por ácido sulfúrico y potasa. Recordando que en aquellos días, se llamaba ácido sulfúrico a lo que hoy llamamos anhídrido sulfúrico y no a su solución acuosa, vemos que, en este contexto, la fórmula del sulfato de potasio no se escribe K_2SO_4 , sino $K_2O.SO_3$; la fórmula del

fosfato de calcio será $(CaO)_3P_2O_5$. Por mucho que la posteridad haya criticado este dualismo de Berzelius, él permanece intacto en la costumbre que tienen los químicos analíticos de informar los resultados de sus análisis como óxidos y anhídridos: todo químico analítico que se respete, consultado sobre la composición de un abono fosfórico informará que tiene tanto de P_2O_5 (o tanto de CaO) y nunca tanto de fósforo o tanto de calcio.

La teoría electroquímica tuvo una inmensa repercusión en su tiempo, y muy pronto se constituyó en el paradigma dominante de la época. Había generalizado y englobado todo el conjunto de la Química conocida en esos días; el dualismo de Lavoisier, la Teoría Atómica de Daltón, el galvanismo y la electroquímica de Volta y Davy. El panorama de la Química era ahora el de una ciencia racional y con principios universales, en vía de lograr la base matemática que Kant, muerto en 1804, había invocado como base para toda nueva ciencia, que respondía a la diosa razón entronizada en 1792 y que tenía la generalidad que los burgueses, autores de constituciones a las que se sometía todo poder, habían deseado. Panorama absolutamente diferente de aquel que había hecho escribir a D'Alembert en la Enciclopedia que la Química estaba todavía en busca de su Galileo y su Newton.

No en vano Davy en su famosa conferencia de 1806 había dicho que la interpretación eléctrica del enlace químico sería "el primer paso en la dirección de colocar la Química sobre los fundamentos permanentes de las Ciencias Matemáticas".

En 1820 la paz llegaba a Europa y al conjunto de la Química. Pero esta belle époque en que el orden se había impuesto sobre el caos no iba a durar mucho. Al doblar la siguiente década se precipita de nuevo la tormenta revolucionaria sobre Europa al mismo tiempo que sobre el cuerpo teórico de la Química.

"LA QUIMICA ORGANICA EN 1830"

Lavoisier había descrito en su *Traité Elementaire de Chimie* algo menos de mil sustancias, de las cuales había menos de treinta que no pudieran ser clasificadas como elementos, óxidos, ácidos o sales. Es decir, el sistema electroquímico de Berzelius explicaba toda la Química conocida en el año de la Revolución Francesa. Pero, al lado de ella había todo lo que hoy conocemos como Química Orgánica y que en esa época correspondía a las químicas vegetal y animal. Algunos químicos habían tratado de analizar las sustancias provenientes de los seres vivos, pero en general era muy poco lo que se había hecho en ese campo, y los tratados de química animal y vegetal eran poco más que catálogos de sustancias enumeradas por su origen o por sus propiedades terapéuticas.

La falta de interés de los químicos por estos cuerpos se debía en gran medida a la creencia de que para producirlos era necesaria una FUERZA VITAL.

En realidad, algunos trabajos sí se habían hecho, desde la producción de alcohol que data de la prehistoria, pero sobre el cual los maestros destiladores de la Edad Media habían acumulado una inmensa masa de observaciones. El éter es descrito por Valerius Cordus, quien murió en 1544. Boyle y Scheele, para mencionar sólo dos de los más grandes químicos anteriores al Siglo XIX habían descrito y estudiado algunas sustancias orgánicas, como el alcohol metílico, la acetona, el glicerol y varios ácidos orgánicos. Sin embargo, todo el conjunto de sustancias provenientes de los seres vivos formaba una masa desagregada de conocimientos en la cual no se observaba ninguna regularidad, ninguna ley general, ninguna coherencia. La situación era tal que, en 1835, Wöhler escribía a Berzelius que “la Química Orgánica parece una selva tropical primitiva, llena de las cosas más extrañas y notables” (12).

Si alguien tiene autoridad para hablar de esta selva en esa época era precisamente Wöhler, quien se había aventurado tal vez más que ninguno de sus predecesores dentro de ella abriendo nuevos caminos a golpes de machete. De estos, el más conocido en nuestros días es el que abrió en 1828, cuando mezcló cianato de potasio con sulfato de amonio, queriendo obtener cianato de amonio, en vez de lo cual encontró úrea.

Aunque esta experiencia era una prueba bastante fuerte de que no se necesitaba tal fuerza vital para producir las sustancias orgánicas, puesto que los dos reactivos usados eran considerados inorgánicos, el significado del experimento no fue bien comprendido por sus contemporáneos, y la idea de la fuerza vital sobrevivió (o agonizó) por lo menos durante treinta años más, hasta que Berthelot logró realizar varias síntesis totales, con el ánimo de darle el golpe mortal.

LA TEORIA DE LOS RADICALES

Wöhler, quien había nacido cerca de Franckfurt am Main en 1800, había estudiado en Heidelberg con Leopoldo Gmelin, quien lo recomendó con Berzelius para una especialización que, en efecto realizó Wöhler, conviviendo con el gran sueco en Estocolmo entre 1823 y 1824. Si en 1828 había dado un gran golpe a la teoría de su maestro, quien en adelante no podría desentenderse con la misma facilidad de la explicación del enlace químico en los compuestos orgánicos, puesto que la fuerza vital podía ahora ser puesta en duda, fue en realidad en 1823 cuando, en compañía de Liebig publicó un artículo cuya importancia fue reconocida por su contemporáneos (13).

El artículo comenzaba así: “Si en la oscura región de la naturaleza orgánica percibimos un punto luminoso que promete una entrada a través de la cual tal vez podremos alcanzar la ruta correcta para la exploración y el reconocimiento de esta región, tenemos razón para felicitarnos, aun cuando nos demos cuenta de la extensión ilimitada de nuestro

objetivo”. La luz la habían encontrado estudiando almendras amargas. Comenzaron por ver que el aceite que se extrae de ellas, cuando se purifica, no contienen el ácido prúsico que les da su carácter tóxico. Estudiaron el efecto de oxidarlo al aire, de tratarlo con cloro, con bromo, con amoníaco y con cianuro de plata. El resultado de todas estas reacciones fue cuidadosamente examinado, encontrando que en todos los casos, los productos “se agrupan alrededor de un solo compuesto, que preserva su naturaleza y composición inalteradas en sus asociaciones con los otros cuerpos”. “Esta estabilidad, está secuencia en los fenómenos nos induce a creer que este grupo es un *elemento compuesto* (zusammengesetzten Grundstoff) y por lo tanto a proponer para él un nombre especial, el de benzoílo. Hemos expresado la composición de este radical por la fórmula $14C+10H+20$ ”.

El hidruro de benzoílo (aceite de almendras amargas) se compone de $14C+10H+20$ + $2H$. Por la acción del cloro, dos átomos de hidrógeno se combinan con dos átomos de cloro para formar ácido clorhídrico, que escapa. En lugar del hidrógeno, sin embargo, entran dos átomos de cloro, según la siguiente fórmula $(14C+10H+20) + Cl$ ”.

El artículo continúa explicando cómo los hidrógenos pueden ser cambiados por oxígeno para dar ácido benzoíco. Un nuevo “elemento” había sido descubierto, pues como bien lo dice Bachelard, el elemento químico es una sustancia límite, una materia que a través de grandes y múltiples cambios resulta refractaria al cambio (14).

Berzelius saludó el artículo inmediatamente, como el comienzo de un nuevo día en la química vegetal” y propuso que se llamara al radical “proina” u “ortrina” de dos raíces griegas para la palabra “amanecer”.

La idea de que los “radicales eran elementos orgánicos, casi tan estables como los átomos mismos “comenzó a abrirse campo. En 1832, el irlandés Robert Kane, antiguo discípulo de Liebig, sugiere que el alcohol, el éter y algunos éteres contienen un radical (15) (C_2H_5) .

En 1833, Berzelius reconoció la existencia del radical, que poco después fue llamado ETILO por Liebig. Rápidamente siguieron el CINAMILO (Dumas-Pelligot, 1834), el SALICILO (Piria, 1838), el CACODILO (Bunsen, 1837), el METILO (Dumas – Pelligot, 1838) y varios otros radicales, algunos de los cuales eran ya conocidos, pero ahora se incorporaban a la nueva concepción teórica. Había un nuevo paradigma que mostraba enorme fecundidad.

EL ESTADO DE LA QUIMICA ORGANICA EN 1837

El 25 de octubre de 1837, Dumas y Liebig leyeron una memoria ante la Académie des Sciences. Como ella nos permite ver bien la atmósfera reinan-

te en aquella época, y como está firmada por los que podrían llamarse líderes de la química francesa y alemana en su momento, vale la pena detenerse sobre ella un momento.

Comienzan los autores explicando que en los 60 años de vida que en ese momento tiene la química, las cuestiones más delicadas de la Química mineral fueron ya examinados con toda profundidad y que en esta ciencia se posee ya prácticamente todo el conocimiento que es posible adquirir por medio de la observación. Estas afirmaciones son interesantes, porque nos muestran claramente el triunfalismo científico de la época. Estamos en el momento de auge de la revolución industrial, cuando ella ha pasado de Inglaterra a Francia y comienza a extenderse a Alemania. La era de las revoluciones en 1830 ha pasado, con el establecimiento de sólidos regímenes burgueses principalmente monarquías constitucionales, en Francia, Bélgica y Holanda. La era de estabilidad y progreso victoriano se afianza en Inglaterra. Las instituciones creadas por Napoleón en Francia para proteger la difusión de la investigación científica se consolidan y sobre todo, la ciencia empieza a mostrar su enorme capacidad de incidir sobre la vida del hombre y la sociedad, mejorando inmensamente sus condiciones. El liberalismo rigurosamente nacionalista y secular es la ideología dominante de la época, hija de la doble revolución de finales del siglo pasado: la industrial en Inglaterra y la política en Francia. Filosóficamente, los liberales se inclinaban al materialismo o al empirismo. Este triunfalismo, esta confianza en la capacidad del hombre para descubrir los misterios de la naturaleza a través de la observación, están claramente presentes en las frases introductorias de este artículo.

Pero, además de comulgar con la ideología triunfante, Dumas y Liebig explican racionalmente la causa de este rapidísimo progreso que radica en que las sustancias elementales, aunque numerosísimas y variadísimas, se agrupan muy naturalmente en varias familias de tal manera que si uno estudia las propiedades de una especie del grupo puede prever y adivinar las de sus congéneres. La química mineral se basa en la idea de "elementos" y, con los 54 conocidos se puede, con ayuda de muy pocas combinaciones formar todos los compuestos binarios y sales posibles.

Al dar esta explicación, dejan muy en claro que la idea de elemento es algo relativo, que corresponde solo a una unidad constante en medio del cambio, pero que podría descomponerse sin producir ningún cambio en la "arquitectura del monumento". No existe para ellos nada intrínseco en la escogencia de un elemento, y aclaran que los escogidos lo han sido sólo teniendo en cuenta el estado actual de la ciencia, que podría cambiar en el futuro.

Luego de esta introducción acerca del desarrollo de la Química mineral y de sus causas, abordan el verdadero objeto del artículo, que es la química orgánica. La primera observación es que el número de

sustancias orgánicas conocidas no es menor que el de las inorgánicas, lo cual resulta sorprendente si se tiene en cuenta que en vez de 54 elementos unidos en todas las combinaciones posibles, en la química orgánica sólo encontramos tres o cuatro y se preguntan; "¿Cómo podemos, con ayuda de las leyes de la química minera explicar y clasificar la inmensa variedad de sustancias obtenidas a partir de la materia viviente y compuestas sólo de carbono, hidrógeno y oxígeno con la ocasional adición de nitrógeno?". Si esta pregunta puede ser resuelta, aseguran ellos que los mayores triunfos están prometidos a la ciencia, porque los misterios de la vegetación y los misterios de la vida animal perderán sus velos ante nuestros ojos".

Una vez planteado el problema, no temen Dumas y Liebig afirmar que ya está resuelto, que el paradigma ha sido hallado y sólo falta desarrollar todas sus consecuencias. Más aún, que la solución es simple, regular y hermosa: "La naturaleza ha tomado un camino tan sencillo como inesperado: **CON LOS ELEMENTOS HA HECHO COMPUESTOS QUE MANIFIESTAN A SU VEZ TODAS LAS PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS MISMOS**". Y ése es todo el secreto de la Química Orgánica. Esta rama de la Química posee sus propios elementos, que juegan en ella el mismo rol que los de la química mineral. El cianógeno, la amida, el benzoílo, los radicales de amonio, las sustancias grasas, los alcoholes y los compuestos análogos son los elementos en los cuales se fundamenta la Química Orgánica y "no los elementos finales, que sólo aparecen cuando toda traza de origen orgánico ha desaparecido".

Cuán lejos estamos de la idea de elemento ligada a los átomos y de la idea de átomo como individuo fundamental, ladrillo del universo. Estos nuevos elementos arbitrarios y relativos deben su estabilidad y permanencia a su origen orgánico, precisamente. La teoría de la fuerza vital subyace en la explicación. La idea del átomo simple se relega al campo de la química mineral: "En la química mineral los radicales son simples, en la Química Orgánica son compuestos. Esa es toda la diferencia". Ya ni siquiera se usa la palabra "átomo". Ahora se piensa sólo en radicales "simples" y "compuestos".

La teoría tiene muchas ventajas. En primer lugar, por primera vez mostró un camino claro para transitar dentro de la "selva oscura". Multitud de hechos empezaron a ser clasificados y clarificados. Además, para los químicos formados en las teorías de la época tenía un atractivo especial; era dualista. Mantenía en cada molécula orgánica dos partes reconocibles, que al separarse y juntarse en todas las combinaciones posibles daban lugar a la infinidad de compuestos orgánicos formados sólo con tres o cuatro elementos simples".

A pesar de todas estas ventajas, muy pronto Berzelius se dió cuenta de un defecto importante, y al entusiasmo inicial por los radicales siguió una dura crítica contra los autores, a quienes comunicó que

sus teorías debían estar equivocadas. En efecto, Lavoisier había definido a un radical compuesto como un grupo de elementos que actúan como uno solo y se une con el oxígeno para formar ácidos. Tanto en el sistema de Lavoisier como en el de Berzelius, la función principal de todo elemento es la de unirse con el oxígeno. En 1833, Berzelius decidió mantener este principio a toda costa. Si un radical es algo que se une con oxígeno, él mismo no puede tener oxígeno. Así, el benzoilo no puede ser radical (17).

Muchos historiadores de la química consideran esta crítica como una muestra de que Berzelius, en su edad madura, se estaba convirtiendo en un viejo testarudo, guardián de la ortodoxia. De hecho, así lo vieron muchos de sus contemporáneos. Sin embargo, en un punto tenía razón Berzelius: la nueva teoría no era coherente con la anterior, y no podía explicar todo lo que aquella había explicado. El dualismo de Lavoisier, las series de contacto de Volta, la serie electroquímica, las hipótesis basadas en la reducción del enlace químico a la fuerza eléctrica, no podían echarse atrás sólo porque había una cierta constancia estequiométrica en una serie de experimentos. Berzelius afirmó en su libro de texto que si se van a hacer deducciones basándose únicamente en las fórmulas de composición, “el estudio de la Química Orgánica sería reducido a un absurdo” (18). Y sin embargo, la gran fecundidad de la nueva forma de concebir la Química Orgánica, era razón suficiente para convencer a sus partidarios de continuar, haciendo caso omiso de las críticas del sabio de Estocolmo.

EL IMPACTO DE LAS SUSTITUCIONES

Sin embargo, un golpe mucho más fuerte iba a ser dado a la teoría de los radicales por el propio Dumas. Cuenta Hoffman que una gran reunión en las Tullerías se echó a perder porque las velas emitían un humo muy desagradable. Se solicitó a Dumas investigar la causa y él halló que las velas tenían toda la apariencia de velas normales, pero que emitían ácido clorhídrico al ser alumbradas. La cera había sido blanqueada con cloro, y el cloro había entrado dentro de su composición sin alterarla en ninguna forma visible (19).

Dumas procedió inmediatamente a tratar otros compuestos orgánicos con cloro y encontró que en muchos casos se podía substituir alguna cantidad de hidrógeno por cloro. Pero, lo más sorprendente era que esta sustitución causaba cambios sumamente pequeños en las propiedades.

Esto era irreconciliable con la teoría de los radicales: los famosos “elementos” con los cuales se construía la Química Orgánica, no sólo eran muy fáciles de alterar, es decir, su pretendida estabilidad no era más que un espejismo, sino que cuando se los alteraba, substituyendo hidrógenos por cloros, sus propiedades ni siquiera cambiaban de manera importante.

Auguste Laurent, nacido en 1808 había sido alumno y asistente de Dumas en la Ecole Centrale, en 1831. Parece haber sido el primero en apreciar completamente las consecuencias que estas sustituciones tendrían para la teoría electroquímica-dualista, y así lo proclamó ya en 1836, al mismo tiempo que proponía el primer intento de explicación de este nuevo fenómeno: “La razón por la cual el Cl puede desempeñar el papel del H es la fuerte tendencia del radical a conservar su *tipo*”. Dos años más tarde, hace más explícita esta idea, cuando afirma que “el cloro, esta sustancia tan diferente del H, ocupa el lugar de éste y desempeña su papel sin cambiar la disposición de los átomos en el compuesto en que se introduce”. Como vemos, la disposición de los átomos, que define un tipo de compuesto, comienza ahora a ser más importante que la naturaleza misma de estas partículas, tanto que dos de ellas tan diferentes como el cloro y el hidrógeno pueden sustituirse mutuamente, sin que ello produzca diferencias importantes entre los compuestos así obtenidos, siempre y cuando se conserve el tipo del radical. En 1838, Berzelius fijó su posición, negando todas las explicaciones que venían de París: “Un elemento tan electronegativo como el cloro nunca puede entrar en un radical orgánico... excepto para formar una combinación que le es peculiar”. Y, frente a este ataque, Dumas respondió tímidamente la sustitución es un hecho empírico, nada más”. “Yo no he dicho jamás que el nuevo cuerpo formado por sustitución tuviera el mismo radical, la misma fórmula racional que el primero”.

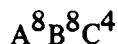
Tal y como se desprende de este breve recuento, si Dumas hizo los primeros experimentos que llevaron a reconocer la importancia de las sustituciones y de la preservación del tipo, fue su ayudante, Laurent, más joven y de origen campesino, quien comprendió su alcance y sacó las consecuencias. Sin embargo, fue Dumas quien con su gran prestigio presentó al mundo la nueva teoría y fue reconocido como su fundador. Laurent sólo ganó la enemistad permanente de su maestro por haber sido capaz de llevar la teoría hasta sus últimas consecuencias.

El 27 de agosto de 1838, ante la Academia, Dumas informa de una sustitución mucho más espectacular: Había logrado, mediante la acción de la luz, substituir el hidrógeno por cloro en el ácido acético, dando lugar a un nuevo ácido, que llamó cloroacético, y que hoy llamamos tricloroacético. En una nueva presentación, más detallada, de sus resultados ante la Academia, en 1839, concluye diciendo: “En la Química Orgánica existen ciertos tipos que se conservan, aún cuando se introduzcan, en lugar del hidrógeno, cantidades iguales de cloro, de bromo, etc.”, (29), y finalmente, el 3 de febrero de 1840, presentó una memoria que desarrolló y llevó hasta sus últimas consecuencias todas estas ideas (21). En ella decía: “En un compuesto orgánico, todos los elementos pueden ser desplazados sucesivamente y reemplazados por otros”, frase que lo sometió a las burlas de muchos de sus cole-

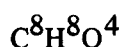
gas, entre otros, de Wöhler quien publicó un satírico artículo en su contra (22).

Dumas definía el tipo diciendo: "Sustancias del mismo tipo son aquellas que contienen el mismo número de equivalentes y que están dotadas de idénticas propiedades químicas fundamentales... cosa que uno puede interpretar como la mejor indicación de la misma predisposición molecular".

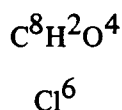
A partir de esta definición explicaba el comportamiento del ácido acético diciendo que había un tipo



Al cual pertenecía el ácido acético:



y, por sustitución de hidrógenos, el tricloroacético:



(hoy en día escribiríamos todas las fórmulas divididas por la mitad, pero en aquellos días la cuestión de los pesos atómicos era todavía objeto de controversia).

Lo importante era la preservación de este tipo, no el tipo de átomo que lo conformará.

A estas alturas, Dumas, Laurent y Liebig entre otros, empezaban a ver claramente la incompatibilidad existente entre la teoría de los tipos y la teoría electroquímica. Dumas admitía todavía como evidente la influencia de las fuerzas eléctricas sobre las reacciones químicas y aceptaba que las fuerzas eléctricas y químicas pueden ser idénticas, pero encontraba errónea la suposición de que cada átomo conserva una sola polaridad: "Una de las más importantes consecuencias de la teoría electroquímica es la necesidad de ver todos los compuestos químicos como sustancias binarias. Es necesario distinguir en ellos los constituyentes positivos y negativos... No hubo nunca un punto de vista más adecuado para retardar el progreso de la Química Orgánica... Yo he mostrado que existen en Química Orgánica tipos que son capaces, sin destrucción, de llevar a cabo las transformaciones más singulares, de acuerdo a la naturaleza de sus elementos".

Debemos subrayar, en primer lugar, que Dumas mantiene la idea de que la Química Orgánica y la Inorgánica siguen leyes de algún modo diferentes. En realidad, esta afirmación parece aquí aún más fuerte que en el artículo escrito en conjunto con Liebig y que reseñábamos anteriormente. Pero, lo que es más grave, su ruptura abierta con el dualismo es más fuerte de lo que él cree; Pues, la teoría electroquímica se había desarrollado a partir del reconocimiento de que había átomos electroposi-

tivos y átomos electronegativos. Que mostraban este carácter en la electrólisis y en la electrificación por contacto, tanto como en el conjunto de sus propiedades químicas. Pero, sobre todo, era una teoría con un profundo poder de explicación y de generalización, que había reducido las fuerzas químicas a fuerzas eléctricas y los procesos químicos a eventos en los cuales átomos materiales, atraídos por fuerzas cuantificables y conocidas en muchos otros fenómenos, sufrían cambios que explicaban la diversidad del mundo material. La nueva teoría de los tipos no ofrecía nada de esto. Poco a poco los átomos iban retrocediendo hacia el fondo del escenario, y ahora era el "tipo", una entidad mucho más abstracta y alejada de la observación concreta lo que tomaba el primer plano. La electricidad, cuya polaridad era bien reconocida en todo lo que de ella se sabía, también tendía a volverse una entelequia de menor importancia, pues si Dumas todavía concede que las fuerzas químicas y las fuerzas eléctricas son las mismas, en cambio estas fuerzas eléctricas ya no son las mismas de que hablaban Volta y Berzelius. Pues, ahora un átomo cargado negativamente puede con tranquilidad volverse positivo. Ya ni siquiera es necesario encontrar los polos positivo y negativo de una molécula. Más aún, el buscarlos es una "idea que retarda el progreso". En suma, Dumas, deja de preocuparse por buscar una explicación al enlace químico. O, si acaso, la localiza no ya en fuerzas materiales, sino en la "predisposición molecular", una idea que por su antropomorfismo parece un retroceso importante con respecto a las explicaciones electroquímicas.

Berzelius no rindió su teoría fácilmente. Si en un principio había condenado sin remisión la teoría de las sustituciones, después negó hasta donde pudo la síntesis del tricloroacético o su similaridad con el ácido acético. Asperas palabras fueron cruzadas entre los "Annales de Chimie" y los "Comptes Rendus hebdomadaires de l'Academie des Sciences". Sin embargo, cuando Melsens en 1842 logró invertir la reacción, y volver del tricloroacético al acético, no fue posible seguir manteniendo la negativa. Entonces Berzelius inventó las "copulas". El ácido acético ya no sería un óxido del $C_4 H_6$, sino una cópula del ácido oxálico $C_2 O_3$ con el grupo $C_2 H_6$. La sustitución podía ahora tener lugar, pues ella no iba a alterar la parte ácida de la molécula:

Acido acético $C_2 O_3, C_2 H_6$

Acido tricloroacético. $C_2 O_3, C_2 Cl_6$

lo cual, en las palabras de Moore, consiste en un curioso intento de mantener dualística la mitad de una molécula, sacrificando la otra mitad. Esta estrategia le hubiera estado prohibida por un buen falsacionista popperiano, quien hubiera considerado que la teoría electroquímica había sido refutada. Sin embargo, la teoría alterna explicaba las sustituciones, pero no explicaba mucho más. La razón

por la cual Berzelius trataba de incorporar los nuevos hechos dentro de la vieja teoría era, como lo expresó en una carta a Wohler, que la teoría de los tipos "Envuelve necesariamente el abandono de toda la estructura de la química en su forma presente y toda esta revolución está basada en la descomposición del ácido acético por el cloro". Por el contrario, Berzelius sostenía ahora que "las leyes de la Química Inorgánica deben ser los principios guías en la nueva ciencia de la Química Orgánica".

Berzelius era dualista en su concepción de la molécula, pero unitario en su filosofía química: Química Inorgánica y Orgánica deben explicarse mediante los mismos principios. Dumas y Liebig, por el contrario, aceptaban con más facilidad una filosofía dualista en la cual la Química Orgánica fuera explicada por principios diferentes de la inorgánica, más aún, por principios puramente internos a ella, que hicieran caso omiso de las leyes físicas encontradas en otros campos, como el de la electricidad.

La pelea se hizo cada vez más agria. La correspondencia entre Liebig, Wohler y Dumas en los años cuarenta contiene múltiples referencias al hecho de que Berzelius era alguien peleando por una causa perdida, alguien que había comenzado a hacer química en la época del flogisto, alguien que era ya demasiado viejo para aprender (23).

Son muchos los historiadores de la Química, como ya mencionamos, que comparten más o menos estas tesis y ven a Berzelius como a alguien que hizo grandes aportes en su juventud, pero que entró en una ciega obstinación en su senectud. Sin embargo, hay otras formas de interpretar este debate. Berzelius hizo esfuerzos por explicar las sustituciones dentro de su teoría dualista. Los orgánicos no habían hecho hasta ahora ningún esfuerzo para explicar la electroquímica ni gran parte de la química mineral. Pero, sobre todo, la teoría electroquímica era un sistema racional con un alto contenido explicativo. ¿Cómo podía el racionalista Berzelius, el discípulo de Lavoisier, Volta y Davy abandonar un conjunto de explicaciones altamente racionales? ¿A favor de algunos cuantos fenómenos, aceptar el abandono de sus ideas? ¿De la definición misma de Química? Pues, en su texto, él definía la química así: "La Química, como la Física se ocupa de las materias y de las fuerzas... Pero, en tanto que la Física trata de la materia en general, la Química desarrolla la idea de diferente materias y de las propiedades que las distinguen a unas de otras. Más aún, la Química se ocupa principalmente de los efectos de una fuerza de la cual la Física se ocupa muy poco: las fuerza mediante la cual las materias de naturaleza diferente tienden a unirse unas a otras. Esta fuerza ha recibido el nombre de afinidad química; pero sería más justo darle el de fuerza de combinación" (24).

La ocupación principal de la Química para Berzelius era la respuesta a nuestra pregunta: ¿Cómo se forma el enlace químico? ¿Qué fuerzas mantie-

nen unidos a los átomos en sus múltiples combinaciones? El había encontrado en la fuerza eléctrica una poderosa respuesta a esta pregunta. ¿Cómo iba a abandonarla a favor de otra teoría que ni siquiera se preocupaba de responder a esta pregunta fundamental? ¿Superficialidad de los químicos orgánicos? Tampoco lo creemos. Sencillamente, a ellos no les interesaba este problema. Sus preocupaciones eran otras. Ellos no habían sido criados en los días de la diosa Razón y no habían sido contemporáneos ni coteráneos de Kant. Eran contemporáneos y coteráneos de Comte y se guiaban por el nuevo espíritu positivista y pragmático de la época.

CONCLUSION

Panorama en 1850

Berzelius murió en 1848 y la discusión cesó. Sin embargo, la teoría de los tipos de Dumas no lo sobrevivió mucho tiempo. El mismo Dumas pronto vió que esta teoría llevada al extremo conducía al absurdo. Pero tampoco él fue capaz de ofrecer una nueva teoría alterna.

Debían ser dos jóvenes suficientemente revolucionarios para poderlo hacer: Laurent, de quien ya hemos hablado, y Gerhardt, sobre todo, un iconoclasta y revolucionario, que se había creado muchos problemas por su actitud revoltosa como estudiante, y que en 1848 había solicitado licencia en Montpellier para unirse a Laurent en las barricadas que obligaron a abdicar a Luis Felipe y establecieron la Segunda República.

Gerhardt es considerado el autor de la Segunda Teoría de los Tipos, que se estableció a principios de los años cincuenta como uno de los paradigmas que dominaría la Química Orgánica de la segunda mitad del siglo, y que, por lo tanto, trasciende en el tiempo los límites que nos hemos fijado para esta conferencia; Sin embargo, lo mencionamos aquí puesto que este ardiente innovador, que contribuyó de manera definitiva a hacer avanzar la Química Orgánica era alguien que se desentendería totalmente de la existencia de los átomos, cuando no declaraba su escepticismo total frente a la existencia de estas partículas. Su ánimo principal no era explicar las combinaciones químicas, sino clasificar la inmensa cantidad de sustancias que habían formado una selva oscura. Y de hecho lo logró. En su lecho de muerte, en 1856 pudo proclamar orgulloso: "J'ai avance la Chimie de cinquante ans" (25). Para hacerla avanzar así tuvo que olvidar la existencia de los átomos, tuvo que declarar la imposibilidad del aislamiento de los radicales, tuvo en resumen que profesar la ideología positivista de su época. La pregunta sobre cuál es la fuerza que mantiene unidos a los átomos probablemente le hubiera parecido metafísica y desprovista de todo interés científico.

Kuhn nos cuenta qué es lo que no hace un científico cuando se ve enfrentado a una anomalía: Re-

nunciar al paradigma que lo ha llevado a la crisis. Los paradigmas sólo se rechazan cuando se presenta un candidato alternativo para reemplazarlos (26). Berzelius nunca rechazó sus teorías, precisamente porque nunca vió ese candidato alternativo. Las teorías de sustituciones y tipos no respondían a las preguntas que él hacía. Y no respondían porque estas preguntas no les parecían ni interesantes ni importantes. Había que hacer avanzar la ciencia en vez de enredarse en discusiones que "retardaban el progreso".

Desde el punto de vista que nos interesa, el de la explicación del enlace químico, podría decirse que se había retrocedido medio siglo. Que al final de nuestra historia nos encontramos en el mismo punto inicial. Pero esta afirmación sería tan parcializa-

da como acusar a Berzelius de viejo terco en los últimos años de su vida. Simplemente, la sociedad había cambiado. Del Napoleón que había premiado a Volta y a Davy, al Napoleón que había sido ayudado a instaurar en la presidencia de la República Francesa por Gerhardt, había una gran diferencia. Del racionalista Kant al positivista Comte, se había operado un cambio. Entre los químicos que habían construido el metafenómeno atómico (27) y lo habían reducido a la mecánica y la electricidad, y los químicos que habían abierto el camino a través de la selva primitiva de los compuestos orgánicos había un abismo. Un nuevo paradigma dominaba su pensamiento y este paradigma nunca había resuelto su diferencia con el antiguo. Ni podía hacerlo. Simplemente eran inconmensurables (28).

BIBLIOGRAFIA

1. Partington J.R. "A History of Chemistry" Volumen IV, The Macmillan Press Ltd. London, 1972.
2. Berzelius, J.J. Ann. Phil, 1813, II, 357. Citado en Partington, ref. 1, p. 160.
3. Partington, ref. 1, pág. 5.
4. Ibid, pág. 8
5. Berzelius, J.J. "Traité de Chimie Minérale, Végétale et Animale", Segunda Edición Francesa, 1845, Tomo I, p.113
6. Berzelius, J.J. ref. 5. p.78.
7. Berzelius, J.J. "Essai sur La Théorie des Proportions Chimiques et sur l'influence Chimique de l'Electricité" París, 1819; Dresden 1820. (reproducido parcialmente en la ref. 8).
8. Leicester Klickstein. "A source Book in Chemistry". Mc Graw Hill Book Co. (1952).
9. Berzelius, J.J., ref. 5, p. 106.
10. Berzelius, J.J. "Lehrbuch der Chemie", 2a. Ed. Alemana 1813, Tomo IV. Reproducido en Leicester y Klickstein, Ref. 8.
11. Berzelius, J.J., ref. 7, p. 91. Véase Partington, ref. 1, p. 170.
12. Moore, F.J. "History of Chemistry", Mc Graw Hill Book Co. 3a. ed. 1939, p. 175.
13. Wohler, F., Liebig J, "Untersuchungen über das Radikal der Benzoesäure", Ann. 1832 III, 248-82. Citado en Partington, ref. 1, pág. 327.
14. Bachelard G. "Le Pluralisme Coherent de la Chimie Moderne", Vrin, Paris (1932), p. 35.
15. Kane R. Dublin Journal of Medical and Chemical Science, 1833, II, 345. Citado en Partington, ref. 1, pág. 347.
16. Dumas A., Liebig, J. "L'état actuel de la Chimie Organique" Compt. Rend. 5, 567 (1837) Reproducido en Leicester y Klickstein, ref. 8.
17. Moore, ref. 12, p. 191.
18. Berzelius, J.J., Jahres-Bericht 1828 VIII, 286, Citado en Partington, ref. 1, p. 345.
19. Moore, ref. 12, p. 197.
20. Dumas, A. Compt. Rend. (1839) VIII 609-22. Citado en Partington, ref. 1, p. 364.
21. Dumas A. "Mémoire sur la loi des substitutions et la théorie des types" Compt. Rend. (1840), X, 149-78. Citado en Partington, ref. 1, p. 365.
22. Moore, ref. 12, p. 199.
23. Partington, ref. 1, p. 370; ver también Moore, ref. 12, Capítulo XIII.
24. Berzelius, J.J., ref. 5, pág. 13.
25. Grimaux E., Gerhardt Ch., "Charles Gerhardt, sa vie, son oeuvre, sa correspondance" (1900), citado en Partington, ref. 1, p. 407.
26. Kuhn, T.C. "The Structure of Scientific Revolutions", 2a. ed. U. of Chicago Press, 1970, p. 77.
27. Gaos, J. "Historia de Nuestra Idea del Mundo", Fondo de Cultura Económica, México, D.E. (1973), p. 421.
28. Kuhn, T.S. en Lakatos, I., Musgrave A. (eds), "Criticism and the Growth of Knowledge", Cambridge U. Press (1970), p. 266.