



Revista de la
SOCIEDAD
VENEZOLANA
de QUIMICA



VOLUMEN 12 N° 1 ENERO-MARZO DE 1989

HISTORIA PARA ENSEÑAR QUIMICA

JOSE ANTONIO CHAMIZO

JONS JACOB BERZELIUS EL QUIMICO DEL SIGLO XIX

INTRODUCCION

A través de esta serie de artículos (1), se cuestiona la idea, tan ferreamente establecida entre muchas personas, de que la historia es algo que hay que eliminar de los programas de estudio de las carreras científicas. En nuestras universidades aun abundan los técnicos convencidos de haber llegado a este mundo fundamentalmente para encontrar aplicaciones prácticas, eficientes y económicas a los conocimientos científicos y para quienes discutir la historia es perder el tiempo (2).

Sin embargo, hay que recordar que la ciencia la hacen los hombres y en este proceso de construcción no se puede apartar la concepción que de la realidad o del mundo tiene el individuo que lo hace, esto es, el científico. De ahí que estudiando a la ciencia, y a la química en nuestro caso, como un proceso histórico, podremos entender cómo y por qué se construye como se ha hecho. Somos resultado de un pasado que no podemos seguir ignorando en nuestro cursos.

DE LOS PESOS ATOMICOS AL JAHRESBERICHT

Jon Jacob Berzelius nació en Suecia a finales del siglo XVII, diez años antes del inicio de la Revolución Francesa. Hijo de un director de escuela, perdió muy pronto a sus padres. En 1788 a la edad de 9 años era un huérfano obligado a trabajar para mantenerse; pero a los 17, gracias a su trabajo y al haber ganado una modesta beca, se encuentra en condiciones de ingresar a la Facultad de Medicina de la Universidad de Uppsala. Allí aprendió química con A.G. Akenburg, un excelente profesor y químico de renombre a raíz de su descubrimiento del titanio. El libro de texto de su curso, "Elementos de Química Antiflogística", era uno de los varios que ya marcaban el inicio de la química cuantitativa, la química posterior a A. Lavoisier.

Al interés por el ordenamiento y la sistematización del mundo natural, establecida por C. Linneo en Uppsala años atrás, Berzelius unió la pasión por la medida, tradición desarrollada allí mismo por T. Bergman y K.W. Scheele.

Sus preocupaciones académicas en aquel momento eran, no obstante, principalmente de índole médica. Así lo indica su tesis de doctorado sobre galvanoterapia o los usos de la electricidad en la medicina. Poco tiempo después, siendo asistente de un profesor de cirugía en Estocolmo, está en posibilidad de iniciar sus investigaciones en química analítica a principios del siglo XIX. Cuando en 1807 es nombrado



profesor de química en el Instituto Médico Carolino, su obsesión por la exactitud da origen al establecimiento de uno de sus principales programas de investigación: La determinación de los pesos atómicos (3).

"Nuevos experimentos me convencieron de que los números de Dalton, necesitaban esta precisión que era fundamentalmente para la aplicación de su teoría. Percibí entonces que, si la luz que se había levantado sobre toda la ciencia debía ser propagada, los pesos atómicos de un número de elementos, tan grande como fuera posible, y sobre todo de los más comunes, debían ser determinados con la máxima precisión que era posible alcanzar..."(4)

Durante la realización de esta empresa, descomponiendo sustancias (con lo que mejoró notablemente las técnicas experimentales de laboratorio) y aislando nuevos elementos (a lo largo de su vida Berzelius descubrió 5 nuevos elementos: El cerio, el selenio, el silicio, el torio y el circonio) tropezó con la limitación de la falta de un sistema propio de símbolos que le permitiera simplificar sus anotaciones. La simbología desarrollada por Dalton le resultó insuficiente, inventando así, él mismo, la nomenclatura química que utilizamos en la actualidad: La letra inicial mayúscula del nombre latino del elemento seguido por la segunda o tercera letra minúscula.

"Debo observar aquí, que el objetivo de los nuevos signos no es otro, al igual que los anteriores, que el de emplearse para etiquetar recipientes en el laboratorio; están destinados únicamente a facilitar la expresión de las proporciones químicas

e indicar de una manera simple el número relativo de los volúmenes de los diferentes constituyentes que contiene un compuesto" (5).

Berzelius determinó los pesos atómicos de todos los elementos conocidos en la época y con estos valores asignó la fórmula de más de 2000 compuestos. Para esto último, le ayudó la Ley de Isomorfismo enunciado por E. Mitscherlich y que dice: cuando dos compuestos cristalizan de manera parecida deben presentar una estructura semejante y viceversa; dos sustancias de estructura semejante presentan cristalizaciones parecidas. Esta ley fue severamente cuestionada por el famoso mineralogista francés R.J. Haüy que creía, junto con la mayoría de los científicos de su época, que cada sustancia cristalizaba de una manera única. En 1822, ya como miembro de la Real Academia de Ciencias de Suecia, Berzelius publica bajo su iniciativa, el primer ejemplar del "Anuario para el progreso de las Ciencias Físicas" (Jahresbericht), en el que se daba información sobre los trabajos más importantes realizados anualmente, en particular en química. En él escribió acerca del descubrimiento de Mitscherlich y la crítica de Haüy:

"La crítica de Haüy es completamente insostenible. Pero no podemos esperar que un científico, hacia el final de una vida llena de honores, se rinda sin resistencia, sin el menor intento de defender lo que considera el más importante de sus descubrimientos" (6).

El Jahresbericht fue, sin lugar a dudas, otra de las grandes aportaciones de Berzelius (7). Gracias a él, la química fue la primera y, al menos por un cuarto de siglo (hasta la aparición de Fortschritte der Physik en Alemania), la única ciencia que al terminar el año recopilaba, sistematizaba y analizaba sus logros. De allí surgieron grandes generalizaciones; los conceptos de isomería y catálisis, así como la definición de polímeros fueron descritas en esta publicación, la cual prácticamente murió con él.

"Como es necesario tener expresiones para las ideas establecidas, bien definidas, y escogidas lo más racionalmente posible, propongo llamar a las sustancias de la misma composición, pero con diferentes propiedades, isoméricas, de griego $\sigma\mu\epsilon\rho\eta\varsigma$ (compuestos de iguales partes)".(8)

DE LA TEORIA ELECTROQUIMICA AL VITALISMO

En 1812 Berzelius es invitado por C. Berthollet a visitar París pero, al estallar la guerra entre Francia y Suecia, viaja a Inglaterra donde conoce a H. Davy. A pesar de que algunos años atrás ya había realizado experimentos en electroquímica, el trabajo de Davy y la serie de contacto desarrollada por A. Volta, lo impresionaron mucho. Sobre dicha serie, que consistía en identificar el sabor (ácido-alkalino) que producía una serie de metales al colocarlos en contacto con la lengua para clasificarlos en tres grupos, Berzelius comenta:

"...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 con el oxígeno, de donde resulta que mientras más se diferencia su afinidad, mayor es la cantidad de electricidad desprendida por contacto..." (9).

Desde este momento, la electricidad se convierte para él en el *primum movens* de todos los procesos químicos.

"...la electricidad es la primera causa de toda la actividad química..." (10).

En su Teoría Electroquímica enunciada en 1819, Berzelius consideró a los átomos de los diversos elementos como dipolos eléctricos; es decir, que tenían una carga predominantemente positiva y negativa, a excepción del hidrógeno, al que consideraba neutro.

De acuerdo con la hipótesis de que los átomos tenían cargas eléctricas, ordenó los elementos en una "serie electroquímica", desde el más electronegativo (el oxígeno), pasando por el hidrógeno. Este sistema dualístico, basado en el principio dipolar, fue la base de su concepción de las combinaciones químicas.

"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 ningún elemento de nuestro globo pueda ser más electronegativo, reconocemos en él a un negativo absoluto".(11)

Para Berzelius, por ejemplo, la formación del sulfato de potasio K_2SO_4 a partir de sus elementos, se explicaría asumiendo que el azufre, siendo electropositivo con respecto al oxígeno, se combina con éste para formar el trióxido de azufre, SO_3 en el que predomina la electricidad negativa, es decir, que tiene una carga neta negativa. Del mismo modo se combinan el potasio y el oxígeno, resultando el óxido K_2O , el cual conserva una carga netamente positiva. Finalmente, debido a que los óxidos de potasio y azufre poseen cargas netas opuestas, pueden combinarse para formar el sulfato de potasio. Como puede verse, la combinación de dos elementos estaría dada por su diferente carga eléctrica y por la distribución de la misma, aunque, dicha unión no produzca necesariamente, la neutralización de las cargas.(12)

Con la Teoría Electroquímica, Berzelius había generalizado y englobado casi todo el conjunto de Química que se conocía en su tiempo; los trabajos de Lavoisier, Dalton, Volta y Davy conformaban ahora uno solo. La química era vista en ese momento como una ciencia racional y con principios universales muy de acuerdo con el sentir de la época. En lo político la Francia de Napoleón acaba de ser derrotada, las colonias españolas en América se independizan de la metrópoli,

los ingleses fundan Singapur. Mientras Hegel, Ricardo y Schopenhauer, por un lado y Goya, Goethe y Beethoven por el otro, marcan el espíritu de los hombres...de los hombres de ese primer cuarto de siglo.

No obstante, algo se escapa. Berzelius pensaba que un elemento presente en un compuesto podría ser sustituido por otro, siempre que este tuviera el mismo carácter eléctrico, lo cual podía demostrarse en gran variedad de experimentos. Sin embargo, cuando se quiso aplicar a los compuestos orgánicos, los resultados no fueron satisfactorios. Por ejemplo, existían reacciones donde el hidrógeno (neutro) era sustituido por grupos fuertemente negativos, sin que con ello se observasen grandes cambios en las propiedades químicas del nuevo compuesto obtenido. Con base en estos hechos, Berzelius propuso distinguir los compuestos químicos orgánicos, que son aquellos que sólo pueden formarse mediante la acción de una fuerza vital; de los compuestos inorgánicos, que estarían gobernados por los leyes físicas y químicas de la naturaleza no viviente.

"Este algo que llamamos fuerza vital, cae muy aparte de los elementos inorgánicos y no cuenta como una de sus propiedades originales, tales como la gravedad, la impermeabilidad, la polaridad eléctrica, etc; pero qué sea, cómo se genere y cómo se extinga son cosas que no comprendemos. Es posible preveer que la Tierra, con todos sus constituyentes inorgánicos, pero sin la presencia de la vida, continuaría en iguales condiciones, existiendo sin seres vivientes. Una fuerza incomprensible para nosotros y ajena a la naturaleza inanimada, imbuyó de este algo a la masa inorgánica, no de modo que se presentase como producto de un accidente"(13).

La división entre Química Orgánica e Inorgánica, que desgraciadamente persiste hasta nuestros días, se había establecido (14).

LA UREA Y LAS CONTRADICCIONES

En 1828 F. Wöhler, uno de los primeros estudiantes de Berzelius y posteriormente profesor de química en la Universidad de Gotinga, Alemania, publicó un artículo titulado "Sobre la producción artificial de la urea", donde indica que obtuvo este compuesto al mezclar cianato de potasio con sulfato de amonio. La urea era conocida entonces como un subproducto del metabolismo constituyente de la orina.

Aunque esta experiencia era muy importante para cuestionar la fuerza vital, no fue bien estudiada por sus contemporáneos. En su Jahresbericht de 1830, Berzelius escribe:

"Más allá de toda duda, uno de los más inesperados, y por lo tanto más interesantes descubrimientos en el campo de la química animal es la producción artificial de la urea...Este descubrimiento indica por ejemplo que el mismo número de átomos simples distribuidos en forma diferente en un compuesto dan lugar a la formación con substancias con propiedades diferentes" (15).

Así el cianato de amonio y la urea fueron de las primeras parejas reconocidas de lo que posteriormente se llamarían isómeros.

J. Liebig, profesor de química de Munich y uno de los científicos más importantes de su tiempo, particularmente por su trabajo en química orgánica así como por aplicar por primera vez la química a la nutrición y a la agricultura, comentó años después:

"La extraordinaria y de alguna manera inexplicable producción de urea sin la existencia de funciones vitales, que le debemos a Wöhler, debe ser considerado como uno de los descubrimientos a partir de los cuales una nueva era de la ciencia ha comenzado" (16).

Wöhler, sin embargo, al menos en un principio, no considera que la síntesis de la urea rompiera la dicotomía entre la química orgánica e inorgánica. Como el dióxido de carbono, la urea era un producto terminal del metabolismo, la frontera entre lo orgánico y lo inorgánico. Así al escribirle a Berzelius comentándole este descubrimiento dice:

"La producción artificial de urea ¿puede considerarse como un ejemplo de la formación de una sustancia orgánica de una inorgánica? Es importante hacer notar, que en la producción del ácido cítrico (como del amonio) se debe empezar siempre de una sustancia orgánica, y un filósofo de la naturaleza podría decir que el carácter orgánico no ha desaparecido ni en el carbón animal, ni en el compuesto de cianógeno derivado de él, y por esta razón se puede producir un compuesto orgánico de este último" (17).

La síntesis de la urea tuvo dos consecuencias importantes: Por un lado atrajo la atención de los químicos sobre la posible preparación de compuestos orgánicos en el laboratorio sin la presencia de la fuerza vital, asunto que P.E.M. Berthelot y H. Kolbe demostraron de manera contundente; por el otro, indicó la presencia de isómeros. Desde este momento se inicia el desarrollo de la química orgánica estructural. Los primeros trenes de viajeros empiezan a circular entre Manchester y Liverpool, Faraday descubre la inducción eléctrica Mac Cormick en Chicago inventa la primera cegadora mecánica y Augusto Comte inicia su primer curso de filosofía positivista. De alguna manera el mundo es distinto.

Un poco antes, en 1815, Gay Lussac había demostrado de el radical ciano (ahora escrito como CN) compuesto de C y N, permanecía intacto a través de una serie de reacciones químicas. En 1823, Wöhler y Liebig identifican un nuevo radical en las almendras amargas. A este *elemento compuesto* que "preserva su naturaleza y composición inalterada en su asociación con otros cuerpos" lo llaman benzoilo. Así, poco a poco, la idea de que los radicales eran elementos orgánicos, están estables como los mismos átomos, fue aceptada por la comunidad química, la cual posteriormente reconoció, entre otros, la existencia de los radicales etilo, cinamilo, metilo y cacodilo.

En este contexto Liebig y Wöhler escriben, en 1837, un artículo titulado "La situación actual de la química orgánica", donde dicen:

"...para producir con 3 o 4 elementos combinaciones tan distintas a quizás más variadas que aquellas del reino mineral, la naturaleza ha tomado un camino tan simple como inesperado; con los elementos ella ha hecho elementos que manifiestan todas las propiedades de las sustancias elementales. Esto es, estamos convencidos, el secreto de la química orgánica...en la química mineral los radicales son simples; en la química orgánica los radicales son complejos; esta es toda la diferencia. Las leyes de combinación y de reacción se cumplen igualmente en ambas ramas de la química"(20).

Sin embargo no todo era tan sencillo. En ese momento, algunos viejos experimentos realizados en el laboratorio de J.B.A. Dumas, en París, adquieren un extraordinario sentido. En 1834 este químico francés había reportado la cloración del alcohol etílico para obtener cloroformo (CHCl_3) y cloral (CCl_3CHO), demostrando que en esta reacción el cloro reemplazaba al hidrógeno. Otro francés, A. Laurent, alumno de Dumas, lleva más lejos esta línea de trabajo al preparar derivados clorados del naftaleno (C_{10}H_8), encontrando, como ya se dijo anteriormente, que las propiedades de este y de los demás compuestos clorados no variaban sustancialmente de los no clorados. Berzelius reconoció este resultado como un ataque a su concepción de la química y atacó a Dumas. Defendiéndose de quien era reconocido en aquel momento por todos los científicos de la época, como "El Primer Arquitecto del Edificio Químico"(18) Dumas escribe:

"Berzelius me ha atribuido una opinión precisamente contraria a la que he mantenido siempre, esto es, que el cloro en este caso toma el lugar del hidrógeno. Nunca he dicho semejante ni nada de esto se podrá deducir de mis opiniones sobre este tema...la ley de las sustituciones es una ley empírica y nada más expresa la relación entre el hidrógeno expelido y el cloro retenido. No soy responsable de la descortés exageración que Laurent ha hecho de mi teoría; sus análisis por otra parte no merecen ninguna confianza" (19).

Sin embargo, poco a poco, otros investigadores fueron descubriendo reacciones que coinciden con las ideas de Laurent. Finalmente, en 1838, cuando el mismo Dumas prepara el ácido tricloroacético ($\text{C}_2\text{Cl}_3\text{COOH}$) a partir del acético (CH_3COOH), observando cambios muy ligeros en el comportamiento de este compuesto, su convencimiento acerca de la sustitución de hidrógeno por el muy electronegativo cloro, es total. Para explicar las sustituciones introduce su teoría de los tipos:

"Como resultado, de la transformación del ácido acético en cloroacético, del acetaldehído en cloral; por el hecho de que en todos estos cuerpos el hidrógeno es reemplazado por el cloro, sin alterar su naturaleza original, nosotros debemos considerar que existen, en química orgánica, ciertos TIPOS que permanecen como tales a pesar de reemplazar su hidrógeno por un volumen igual de cloro, bromo o yodo; así la teoría de la sustitución se sostiene en hechos, uno de los más impresionantes de la química orgánica"(21).

La teoría de las sustituciones explica estos procesos pero no muchos más. Laurent, Liebig y Wöhler aceptan fácilmente una teoría dualista en donde la química orgánica se sostiene en principios diferentes a los de la inorgánica, ajenos a las leyes físicas conocidas en otros campos, como la electricidad, las series de contacto de Volta, la serie electroquímica. La razón eléctrica del enlace químico es olvidada, en parte, por la gran fecundidad de la nueva forma de concebir a la química orgánica. Berzelius no podía aceptarlo. El era dualista en la concepción de los compuestos, pero unitario en su filosofía química. La orgánica y la inorgánica deberían explicarse mediante los mismos principios.

Se ha acusado a Berzelius de ser un viejo terco los últimos años de su vida. La crítica que había hecho de Haüy años atrás se aplicaba ahora a él mismo; le sucedía lo que el filósofo francés de la ciencia, G. Bachelard ha identificado como "obstáculo epistemológico":

"Llega un momento en el que el espíritu prefiere lo que confirma su saber a lo que lo contradice, en que prefiere las respuestas a las preguntas"(22).

Lo que explica que este comportamiento de Berzelius, y lo hace más fácil de comprender, es el contraste entre su obstinado conservadurismo y su genio para vislumbrar nuevas generalizaciones. Las preguntas y los problemas que preocupaban a los químicos de ese momento, cerca de la mitad del siglo XIX, contemporáneos y muchos de ellos coterráneos de A. Comte, estaban guiados por el nuevo espíritu positivista y pragmático de la época. El racionalismo kantiano que marcó y guió la juventud de Berzelius constituían el pasado. Para los nuevos químicos orgánicos:

"Un nuevo paradigma dominaba su pensamiento y este paradigma nuevo nunca había resuelto su diferencia con el antiguo. Ni podía hacerlo. Simplemente eran inconmensurables".(9)

REFERENCIAS Y NOTAS

1.D. Cruz, J.A. Chamizo y A. Garriz. "Las investigaciones de Irving Langmuir sobre la estructura atómica y molecular" Contactos, por publicarse.

2. Algunos artículos en los que se discute este punto son:

a) Aihde "Chemistry is a Human Enterprise", J. Chem. Ed. 1980, 57, 4.

b) D. Herron "The Place of History in the teaching of Chemistry", J. Chem. Ed. 1977, 54, 15.

c) A.T. Schwartz, "The History of Chemistry. Education for Revolution" J. Chem. Ed., 1977, 54, 467.

3. Una excelente descripción de los experimentos realizados por Berzelius en este proyecto se encuentra en R. Harre "Great Scientific Experiments", Phaidon, Oxford 1981. También se puede consultar W. Marshall, "Berzelius-Pioneer Atomic Weight Chemist" J. Chem. Ed., 1977, 54, 467.

NUESTROS QUÍMICOS

4. Citado en C. Marmasse "La paciente historia del átomo" Sep. Diana México, 1979.
5. Citado en R. Winderlich, "History of Chemical Language" J.Chem.Ed., 1953, 30, 58.
6. Citado en H. Hartley "Studies in the history of Chemistry" Clarendon Press, Oxford, 1971, pag. 147.
7. W. Ostwald "Berzelius' Jahresbericht and the international organization of Chemists" J.Chem.Ed., 1955, 32, 373.
8. Citado en O.T. Benfey "From Vital Force to Structural Formulas", American Chemical Society, Washington, 1975, pag. 28.
9. Citado en J.L. Villaveces "El enlace químico en el siglo XIX" Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1984, 54, 113.
10. Referencia 8, pag. 11
11. Referencia 9, pag. 116
12. La relación entre este modelo y los posteriores desarrollos en el siglo XIX se discute en D. Cruz, J.A. Chamizo y A. Garriz "Estructura Atómica: un enfoque químico". Fondo Educativo Interamericano, México 1986.
13. Citado en M. Teich "Los fundamentos históricos de la bioquímica moderna" en J. Needham "La Química de la Vida" Fondo de Cultura Económica, México, 1970.
14. Para un cuestionamiento a este punto J. Livage "El enlace químico" Mundo Científico, 1981, 1, 54.
20. Referencia 8, pag. 36.
21. Referencia 8, pag. 43
22. G. Bachelard "La formación del espíritu científico", Siglo XXI, México, 1979.
15. Referencia 8, pag. 23
16. Referencia 8, pag. 24.
17. Referencia 8, pag. 25.
18. De esta manera, científicos como Liebig, se referían a Berzelius. Referencia 6.
19. Referencia 8, pag. 40.

José Antonio Chamizo
División de Estudios de Postgrado
Facultad de Química UNAM
04510 México, D.F.

Solicitud de personal

El Centro de Química Analítica de la UCV, solicita un INVESTIGADOR RESIDENTE para trabajo de estudios de Contaminación Ambiental

Requisito: estudio de postgrado en química analítica.

Interesados dirigirse a:

Dra. Nereida Carrión
Centro de química analítica
Universidad Central de Venezuela
Fac. de Ciencias
Apto 47102
Fax 6627121