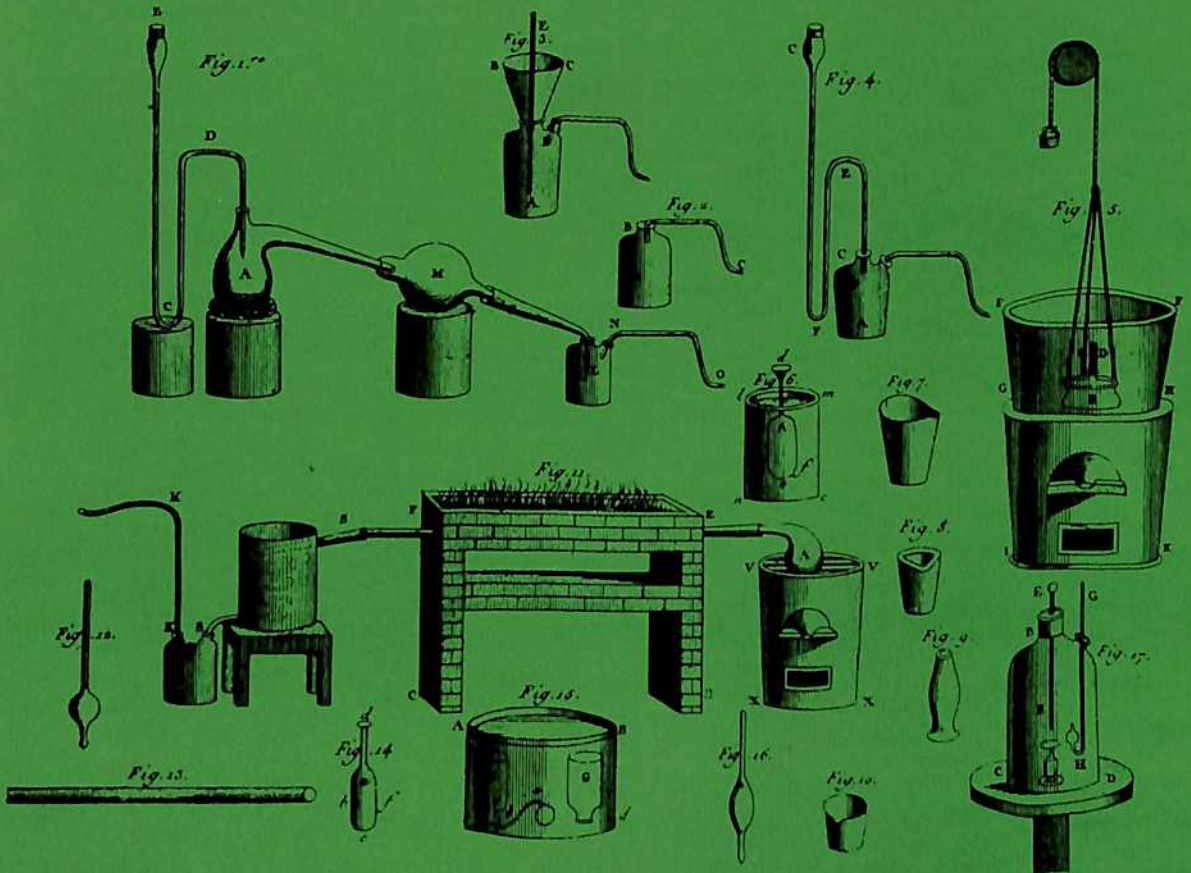


Germán Cubillos A.  
Flor Marina Poveda G.  
José Luis Villaveces C.

# HACIA UNA HISTORIA EPISTEMOLOGICA DE LA QUIMICA



ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS,  
FISICAS Y NATURALES

COLECCION ENRIQUE PEREZ-ARBELAEZ No. 3



# Hacia una historia epistemológica de la Química

**Germán Cubillos A.**

Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia  
Grupo de Química Teórica

**Flor Marina Poveda G.**

Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia  
Grupo de Química Teórica

**José Luis Villaveces C.**

Miembro de Número Academia Colombiana de Ciencias Exactas,  
Físicas y Naturales

Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia  
Grupo de Química Teórica

BOGOTA, D. E., 1989

© Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Carrera 3-A No. 17-34 - Piso 3o., Apartado 44743 - Fax (57 1) 283 85 52

Primera Edición, 1989 - Bogotá 1, D. E. Colombia

Reservados todos los derechos. Este libro no puede ser reproducido total  
o parcialmente sin autorización.

Carátula: Grabado tomado del "*Traité élémentaire de Chimie*" de Lavoisier.

ISBN 958-9205-00-3 Obra completa  
958-9205-02-X Tomo 3

Clasificación Dewey: 540.121

Materias Química - Historia  
Química - Epistemología

Composición, diagramación, impresión y encuadernación:

EDITORA GUADALUPE LTDA.

Printed in Colombia. Impreso en Colombia.

## HACIA UNA HISTORIA EPISTEMOLOGICA DE LA QUIMICA

### Contenido

---

|   | Pág. |
|---|------|
| Presentación .....  | VII  |
| El Grupo de Química Teórica .....   | XI   |
| A manera de Introducción .....  | 1    |
| Las ciencias como culturas científicas .....  | 3    |
| Ciencia y Humanismo .....   | 11   |
| Del conocimiento previo a los conceptos modernos .....  | 23   |
| De los cursos teóricos y de los cursos prácticos y de su papel en<br>la enseñanza de la Química ..... | 33   |
| Enseñanza formalista e historia social de las ciencias .....  | 41   |
| Alquimia: Filosofía y praxis .....  | 45   |
| Del sustancialismo al atomismo en la Química .....  | 53   |
| ¿Es Dalton el padre de la Teoría Atómica? .....   | 63   |
| Berzelius, químico teórico y práctico .....   | 73   |
| El enlace químico en el siglo XIX .....   | 77   |
| Bohr y la Química .....   | 99   |

## PRESENTACION

---

Por ser su principal finalidad la de realizar y promover la investigación en el campo de las ciencias exactas, físicas y naturales, y teniendo como uno de sus objetivos el mejoramiento de la docencia en estas ramas del conocimiento, con la meta de dar mejor cumplimiento a estos propósitos, la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales creó en 1985 sendas colecciones de libros destinadas a la rápida y fácil divulgación de los estudios realizados en tres grandes áreas del saber.

La primera de estas series denominada "**Colección Jorge Alvarez Lleras**" está destinada a la publicación de resultados de trabajos investigativos; dentro de la misma apareció en 1987 y como primer título el libro "*Estudios morfológicos, autoecológicos y sistemáticos en Angiospermas*" del Dr. Luis Eduardo Mora Osejo, obra que ha tenido una gran acogida entre la comunidad botánica internacional y que ha despertado elogiosos comentarios por parte de la crítica especializada.

La segunda serie denominada "**Colección Julio Carrizosa Valenzuela**" está dedicada a la publicación de obras de carácter didáctico; el primer título, que saldrá a la luz en el curso de 1990, corresponde al libro "*Física Cuántica, teoría y aplicaciones*" del cual es autor el académico y catedrático Guillermo Castillo Torres.

La tercera serie llamada "**Colección Enrique Pérez-Arbeláez**" tiene por objeto publicar trabajos relativos a la historia de la ciencia y a su desarrollo. Se inauguró esta colección con el libro "*Memorias del Seminario en conmemoración del centenario de Erwin Schrödinger*", el cual corresponde a la recopilación de las conferencias dictadas en octubre de 1987 con motivo de esta efemérides en un ciclo organizado



por la Academia y por la Universidad Nacional de Colombia. El segundo título de reciente aparición es el libro "*Génesis de una flora*" de los académicos Santiago Díaz y Alicia Lourteig. Se trata de la transcripción comentada de la correspondencia cruzada entre J. J. Triana y J. E. Planchon en desarrollo de la preparación del "*Prodromus florae Novo Granatensis*" y de otras obras adelantadas en forma conjunta por estos reconocidos naturalistas del siglo XIX.

Esta tercera aparición que sale bajo el título de "*Hacia una historia epistemológica de la Química*" agrupa interesantes trabajos preparados por los profesores Germán Cubillos, Flor Marina Poveda y José Luis Villaveces en torno a la historia de esta rama del conocimiento. Dada la variedad de temas, la calidad de los contenidos y las características editoriales, no dudamos que estas colecciones estén cumpliendo con los objetivos fijados por la Academia y perseguidos por sus autores.

**SANTIAGO DIAZ PIEDRAHITA**

*Director de la Revista  
Academia Colombiana de Ciencias  
Exactas, Físicas y Naturales*

---

## EL GRUPO DE QUIMICA TEORICA

---

*El grupo de Química Teórica se constituye alrededor del propósito compartido de trabajar los conceptos de la Química en toda su profundidad, analizando sus orígenes, sus bases conceptuales, sus relaciones con conceptos de otras ciencias, los cambios sufridos por ellos a lo largo de la historia, las formas que puede adoptar el trabajo pedagógico con ellos, las deformaciones que reciben.*

*Los conceptos de la termodinámica y la teoría cuántica, las ideas de átomo y de molécula con todo lo que implican, la física molecular, la quimiometría y su promesa de constituirse en sustrato matemático de la fenomenología química, las relaciones de la química con la alquimia, con la física, con las matemáticas, son algunos de los temas que nos interesan. Trabajamos sobre su historia para saber de dónde vienen, para saber a dónde van. Trabajamos sobre los conceptos mismos para ver todas sus implicaciones, para ver a la Química en todo su poder de ciencia racional, con bases teóricas y metafenomenológicas que trascienden en mucho el marco pragmatista y positivista dentro del cual suele ser encerrada en la cultura occidental contemporánea.*

*Porque creemos que no es la química reducible a la física, como tanto se ha pensado. Porque creemos que tiene sus propias teorías no siempre bien formalizadas. Porque creemos que el trabajo pedagógico de sus conceptos básicos encierra retos formidables mal enfrentados en la mayoría de nuestros esquemas formalistas de enseñanza. Porque creemos que su milenaria historia encierra muchas de las claves de la lucha del hombre en su ascenso; por todo ello encontramos apasionante el trabajo profundo sobre los cuerpos conceptuales de la Química.*

*Pero no es sólo el placer de este trabajo lo que nos constituye en Grupo.*

*Más allá de esta motivación individual está la motivación social inspirada por la absoluta convicción de que, para que nuestra sociedad llegue a tener un desarrollo autónomo, para que podamos caracterizar nuestros problemas y enfrentarlos con alguna posibilidad de éxito, para romper todos los esquemas de dependencia, es condición indispensable el tener sólidas bases teóricas, el construirnos nuestra propia capacidad de pensar, el apropiarnos de los modos de reflexión, única mercancía que jamás podrán vendernos, único campo en el cual jamás podrán reducirnos al papel de consumidores, puesto que se trata de nuestra propia vida. Y una vida plena es una en la cual podamos hacer lo que pensemos. Para lo cual es necesario comenzar por pensar en lo que hacemos. Para hacerlo, como Químicos, formamos este Grupo.*

## A MANERA DE INTRODUCCION

*Todo inquirir fracasa en el vacío,  
cual fracasan los bólidos nocturnos  
en el fondo del mar; toda pregunta  
vuelve a nosotros trémula y fallida,  
como del choque en el cantil fragoso  
la flecha por el arco despedida.*

*Hermano mío, en el impulso errante,  
nunca sabremos nada...  
Y sin embargo...*

PORFIRIO BARBAJACOB

El estudio y la reflexión sobre la Historia de la Química, además de revelar el poder del espíritu del hombre, nos producen el placer de la conquista, conquista del pasado y del presente, conquista del futuro. El placer del encuentro pleno con una cultura científica incrustada profundamente en la praxis del hombre contemporáneo.

Muchas discusiones hemos sostenido en busca de la parte trascendente de la Química (como llamó Humphry Davy a las conjeturas interesantes). Esta búsqueda nos llevó primero a orientar nuestro catalejo hacia el pasado lejano, a recorrer los orígenes de las ciencias allá en el útero mágico de culturas orientales, al nacimiento de la Ciencia de Egipto, Babilonia y Mesopotamia y luego a los más modernos materialistas jónicos, que abrieron el camino del atomismo hasta Dalton y la Química del siglo XIX.

Con sorpresa y placer fuimos encontrando vacíos, a veces grandes vacíos conceptuales e interpretativos en épocas fundamentales para el desarrollo de la Química. Fuimos ampliando nuestra ignorancia, llenando de incógnitas nuestros cuadernos y descubriendo que la Química es una cultura más rica que lo que habíamos aprendido en los libros, en los salones, en los laboratorios, en los grupos de investigación. Fuimos entreviendo una Química científica, humanista, filosófica, tecnológica, práctica, más allá del esquema pragmático de la "Química Industrial" o del esquema científicista de la "Química Pura".

Nuestras discusiones cotidianas se han ido plasmando en materiales escritos que recogen hipótesis y reflexiones lanzadas en distintos espacios culturales donde nos hemos hecho presentes, que reflejan las preocupaciones individuales por temas que nos han llenado el sueño y la vigilia.

Aquí recogemos algunos con el ánimo de reunir las preocupaciones, a primera vista dispares, de ampliar el espacio cultural en donde podamos continuar la reflexión, de buscar tal vez algún otro interlocutor.

"Las Ciencias como Culturas Científicas" y "Ciencias y Humanismo" abren la recopilación porque en cierta forma proveen el marco conceptual de los demás trabajos al concebir la Química y las Ciencias como fenómenos sociales y culturales complejos inmersos en la experiencia multifacética del hombre.

Los siguientes tres artículos: "De los Cursos Teóricos y de los Cursos Prácticos y de su Papel en la Enseñanza de la Química", "Del Conocimiento Previo a los Conceptos Modernos" y "Enseñanza Formalista e Historia Social de las Ciencias" corresponden a la reflexión epistemológica sobre el trabajo pedagógico y el papel de la Historia como fuente de comprensión de la Química actual.

"Alquimia: Filosofía y Praxis" y "Del Sustancialismo al Atomismo en la Química" avanzan hipótesis de trabajo sobre las cuales se podría construir una Epistemología de la Química.

Finalmente, los últimos cuatro artículos: "¿Es Dalton el Padre de la Teoría Atómica?"; "Berzelius, Químico Teórico y Práctico"; "El Enlace Químico en el Siglo XIX" y "Bohr y la Química", representa un trabajo a través de los conceptos básicos de la Química, buscando la apropiación de nuestra cultura química mediante su reconstrucción histórica y epistemológica.

## LAS CIENCIAS COMO CULTURAS CIENTÍFICAS\*

GERMAN CUBILLOS A.

Mirar las ciencias como culturas científicas es una buena manera de abrir el camino para su humanización definitiva, para el rescate pleno de aquellos aspectos no rigurosos, a veces no racionales que muchos científicos y filósofos de la ciencia niegan, o tratan de ocultar, o están convencidos que no se deben admitir dentro de ellas.

Lo que ahora voy a proponer no es solamente un ejercicio cultural, es también un ejercicio epistemológico y al mismo tiempo una incitación a la recuperación de valores culturales y a la conquista de espacios de libertad para la realización plena del hombre latinoamericano.

### LA CULTURA

Entiendo la cultura como un conjunto integral y dinámico de aspectos tales como los que ahora veremos:

- a) Técnicas de manipulación y transformación de la materia y la energía y técnicas de construcción y producción, cuya historia general incluye la caza, la pesca, las técnicas agrícolas, la metalurgia, la cerámica, la construcción de vivienda... hasta la tecnología contemporánea.
- b) Formas de organización social para la producción, la reproducción, la convivencia, la guerra, la fiesta... que van desde las familias primitivas hasta los estados modernos, pasando por las organizaciones tribales, las organizaciones gremiales, los partidos políticos, etc.
- c) Encontramos otro aspecto de la cultura en los caminos que sigue un grupo social para explicar e interpretar racionalmente el mundo, así como para predecir su comportamiento.

\* Artículo publicado en la revista "NOTICIAS QUÍMICAS" No. 43 de 1986, que recoge textos de conferencias dictadas en varias universidades del país y corresponde al primer escrito de esta hipótesis de trabajo en el campo de la epistemología de la Química y las Ciencias Naturales.

- d) Pero lo inexplicable desde el punto de vista de la razón tiene otras explicaciones; lo inmanejable con las técnicas inventadas por la razón, tiene otra manera de manejarse o lo explicado y manejado por la razón tiene formas alternas de manejarse y explicarse. Esa otra instancia corresponde a la magia y la religión.
- e) Formas para la expresión de la poética del hombre frente al mundo y la creación de valores estéticos.
- f) Formas de comunicación como los lenguajes, códigos, signos, símbolos y demás mecanismos desarrollados a través de la historia.

Todos estos aspectos se evidencian en la praxis social y determinan las costumbres y comportamientos de los individuos de una sociedad siendo al mismo tiempo expresión de los individuos y de la sociedad.

Esta concepción de la cultura incluye lo típicamente humano, aquello que diferencia al hombre de las demás estructuras vivas y de la naturaleza inanimada.

### CARACTERÍSTICAS DE LA CULTURA

Este ente complejo, producto de la relación del hombre con el cosmos, tiene algunas características que necesitan ser detectadas.

- a) En primer lugar, está en permanente transformación (aunque existe una base cuyo movimiento y cambio son muy lentos considerándose entonces como permanente). Esta transformación de la cultura se puede producir por causas externas; por causas internas o por una combinación de las dos.

La transformación por causas externas generalmente ha sido el resultado de acciones brutales de conquista y de imposición del fuerte sobre el débil. La transformación por causas internas generalmente ha sido el resultado de un acto creador y un despliegue de imaginación importante dentro de la comunidad. La transformación por los dos tipos de causas, la más común en nuestra época implica esa lucha cultural por abrirse al mundo sin sucumbir.

- b) La cultura se aprende y la educación, junto con el ejemplo en la praxis cotidiana de la comunidad y la imposición y difusión a través de los medios masivos de comunicación, son los mecanismos más eficaces para asegurar que las nuevas generaciones sean portadoras de los valores, creencias y comportamientos de las anteriores.
- c) En toda cultura se pueden descubrir rasgos y patrones culturales que constituyen los factores claves de su identidad cultural. Así

pues, aunque existen rasgos y patrones comunes a muchas culturas, cada una tiene aspectos propios que constituyen su especificidad, la diferencia de otras y constituyen su aporte esencial a la cultura humana.

- d) Finalmente se puede decir que los distintos componentes de la cultura, aunque presentan la posibilidad de ser considerados separadamente para su descripción y estudio, en realidad forman parte de una estructura indisoluble, de mutuas influencias y determinaciones.

Esta determinación mutua hace que un cambio cultural significativo pueda sobrevenir por un cambio en cualesquiera de los aspectos de la cultura, que tenga el poder de hacerse sentir en toda la estructura.

Por ejemplo, el descubrimiento de una nueva herramienta o una nueva máquina más eficaz dentro de un proceso productivo, puede alterar la organización social, puede generar inquietudes y desarrollos teóricos a posteriori y por este camino una transformación global de la sociedad y la cultura. Pienso ahora en el invento de la máquina de vapor, que evidentemente produjo un proceso de cambios revolucionarios y solamente tuvo un marco teórico apropiado para explicar su funcionamiento casi 100 años después de su invención.

- e) Es claro por otra parte, que toda cultura presenta etapas de desarrollo que pueden seguirse a distintos niveles de profundidad y configuran su historia, ese recuento a veces preciso, a veces maravilloso, del proceso por el cual llegó a ser lo que es.

### LAS CIENCIAS COMO CULTURAS

Este acercamiento a una definición y caracterización de la cultura, nos ubica dentro del marco conceptual y de significación que permite ahora aplicarlo a las ciencias en general y a la Química en particular.

Si las ciencias se pueden estudiar como culturas científicas, quiere decir que podremos establecer sus distintos niveles culturales y encontrar las características que hemos destacado para la cultura en forma general.

En realidad encontramos todo esto. En el caso de la Química, por ejemplo, tenemos en el nivel de las técnicas de manipulación de la materia y la energía, todas las técnicas de laboratorio, los métodos estandarizados y optimizados, en última instancia, todas las operaciones descritas en "manuales de laboratorio" y de "Química experimental". Aún más, las "fórmulas" para la producción en la industria Quí-

mica donde están establecidas rigurosamente las cantidades, proporciones y condiciones de reacción también se ubican en este nivel.

En cuanto a las formas de organización social, corresponden a las asociaciones profesionales, y gremiales (en Colombia ASQUIMCO, ASOQUIL, Sociedad de Químicos e Ingenieros Químicos, etc.); la organización institucional para la formación de nuevos profesionales químicos (facultades, departamentos, carreras); las maneras de organizar los grupos de investigación, la forma de organizar el trabajo pedagógico que incluye no solamente un currículo, sino también su operacionalización práctica y social.

Aunque es cierto que por lo menos en Colombia todas las culturas científicas tienen características similares en estos aspectos, no es menos cierto que un estudio más a fondo revela los rasgos y patrones culturales que las identifican.

El nivel correspondiente a la interpretación y explicación racional del mundo y la predicción de su comportamiento futuro en el caso de las culturas científicas, corresponde a lo que comúnmente llamamos "Teoría". Está conformada por los cuerpos conceptuales básicos propios de cada ciencia, más un conjunto de otros cuerpos conceptuales que provenientes de otras culturas han sido integrados a los propios y forman con ellos una estructura coherente y específica.

La clasificación periódica de los elementos, la teoría atómica y las teorías sobre estructura Química constituyen cuerpos conceptuales propios de esta ciencia. Los aspectos teóricos que explican los fenómenos electromagnéticos y la interacción de la energía radiante con la materia provenientes de la Física, más una componente matemática importante, están tan integrados a los cuerpos conceptuales de la Química analítica instrumental que ya hacen parte de la cultura Química del siglo XX.

Cuando llegamos al nivel de la expresión y la estética parece como si nuestra hipótesis fallara. No obstante, algunos indicios permiten que se mantenga.

No es difícil encontrar "estilos depurados de experimentación" que se acercan al nivel del arte, ya por el preciosismo de la ejecución, ya por el ritmo de funcionamiento, ya por la concepción del espacio y la distribución arquitectónica y naturalmente por el placer que produce su visualización y su ejecución.

Considero que se está desarrollando o más bien rescatando la poética del experimento, la poética de la teorización, la poética de la fórmula y el modelo.

Cuando decimos que un problema se ha resuelto en forma elegante, tal vez lo que hacemos es reconocer el nivel estético de la solu-

ción, por lo tanto la capacidad creativa del ejecutante. Estimo especialmente este nivel ya que estoy convencido de que la exactitud, la precisión y la frialdad del lenguaje científico, expresión de una visión del mundo con estas mismas características es la mejor manera de acabar con la imaginación y por lo tanto con la creatividad, herramienta fundamental para la transformación del mundo.

En el caso del mito, la magia y todas las concepciones y manifestación del hombre emparentadas con ellos, aunque aparentemente más lejos son parte fundamental de las culturas científicas.

Inicialmente porque siendo el objetivo primario de la magia, el manejo de las fuerzas de la naturaleza a través de una técnica particular, el rito, se siente alguna filiación inmediata con los objetivos de las ciencias. Más directamente porque actividades mágicas antiguas son, con las debidas transformaciones, actividades científicas actuales.

Vale la pena además pensar en la relación existente entre el ritual mágico y algunos trabajos de experimentación en el laboratorio. Sería un exceso asimilar el ritual al experimento pero existen similitudes importantes. Tanto en uno como en otro, la serie de técnicas que se ensamblan para producir los cambios deseados está establecida con un rigor casi absoluto, que proviene de su probada eficacia.

En muchos experimentos el ejecutante adopta una serie de comportamientos que no dejan de parecerse a los que adopta el chamán preparando su pócima o el alquimista realizando su transmutación.

El ritual mágico, como el experimento, están gobernados por una teoría como sistema de principios que dictan la manera en la que el acto ritual debe realizarse para que sea efectivo.

Finalmente podemos decir que la posición social del mago antiguo es la posición que ocupa hoy el científico, debido seguramente a su "capacidad de obrar prodigios".

Es importante resaltar también que en las culturas científicas, los mitos, las leyendas y los héroes son un componente importante, tanto en el orden de cohesión de una comunidad científica como en el de validación de teorías, generación de hipótesis y por supuesto en el de remplazo de unas teorías por otras.

En las ciencias, los grandes investigadores se transforman en grandes mitos y las anécdotas que sirven para destacar su genialidad o su valor se convierten en leyendas que se van transformando en "verdades históricas" con el paso del tiempo.

En realidad Galileo, después de retractarse ante la inquisición en relación con el movimiento de la tierra alrededor del sol, dijo en voz baja: "¿Pero se mueve?". Por supuesto esto lo rescata como héroe.

Acaso la anécdota que liga el descubrimiento de la ley de gravedad con la manzana que cayó sobre la cabeza de Newton cuando descansaba debajo del árbol es cierta, ¿o es sólo una manera de destacar su genialidad? ¿Es "sólo una leyenda"?

Naturalmente estos serían casos de mitos más bien universales, sin embargo, existen nuestros mitos regionales, nuestras leyendas particulares de cada grupo de investigación, cada departamento, cada facultad, de cada ciencia. Rescatarlos, ordenarlos, valorarlos y discriminar lo sucedido de lo inventado es una de las vías para apropiarnos de nuestra historia y nuestra mitología.

En relación con las formas de comunicación, es suficientemente evidente que los lenguajes actuales de las ciencias particulares, son tan específicos que los mensajes codificados según sus normas dejan por fuera a los no iniciados.

Un libro de Química, es un buen ejemplo de esta afirmación. Lo que para una persona corriente es un hexágono o un pentágono, para un químico es la representación de un compuesto químico que tiene propiedades químicas y físicas bien definidas, composición y distribución espacial características y un buen número de otros significados.

¿Entonces el Método Científico qué?

Muchos discursos sobre la ciencia comienzan por definirla como aquella actividad que se realiza con base en "el método científico" y seguidamente entran a definir el método. Esta definición más o menos se reduce a establecer ciertas etapas necesarias y los más ortodoxos a indicar el orden que estas etapas deben tener (Ej.: observación, hipótesis, experimentación, análisis de resultados, conclusiones, teorías).

La concepción expresada aquí en relación con las ciencias como culturas científicas nos lleva necesariamente a una idea bien distinta sobre "el método" (los métodos diría yo) de las ciencias.

La formación y desarrollo de una cultura no es un proceso absolutamente planificado, no se puede en general reconstruir su proceso en forma rigurosa y única, ya que la historia de un mismo proceso siempre puede ser escrita desde puntos de vista distintos, antagónicos o complementarios. Los logros de una cultura científica son el resultado de una serie de factores culturales cuya simplificación en un método termina por convertirlos en caricatura de los hechos.

La producción cultural es más experiencia y vivencia, imaginación y repetición que lógica y razón. La sistematización de la experiencia se da más bien a posteriori y el modelo que se establece para indicar como se hizo, se parece a la experiencia misma tanto como la descrip-

ción de un accidente por un curioso, al accidente mismo, o un modelo para hacer el amor al acto mismo.

Los científicos que contribuyen a la transformación de su cultura científica, aquellos que establecen nuevas teorías, realizan descubrimientos importantes, formulan hipótesis que contradicen teorías bien establecidas, difícilmente pueden indicar una serie de pasos lógicos y ordenados para la realización del trabajo científico y cuando lo hacen son conscientes de que "el método científico" propuesto no es más que una simplificación bastante burda de un hecho complejo.

Pienso por lo tanto que los métodos del trabajo científico incluyen creencias y tradiciones, premoniciones y chispazos, una buena dosis de imaginación y capacidad para objetivar lo imaginado y en todos los casos poseer una cultura científica básica desde la cual ver al mundo.

Es posible que las técnicas para realizar una extracción con solventes y la realización de una cromatografía, o el análisis instrumental de los productos obtenidos tengan una descripción rigurosa de los pasos y del ordenamiento de ellos, en una investigación fitoquímica, por ejemplo.

Pero esto no es el método científico, es apenas una serie de recursos técnicos y la generación del problema, el planteamiento de preguntas, el origen de las preguntas, la invención de explicaciones, el desarrollo de nuevos elementos tecnológicos, para el trabajo experimental o la utilización de nuevas herramientas conceptuales, etc., no se pueden establecer y describir ordenadamente a la manera de las técnicas. Es decir, no existe un camino único (valga la redundancia) para hacer ciencia, no existe "un método científico" para todas las ciencias. Así como la apropiación de la cultura y la producción cultural tienen una componente individual como manifestación del ser individual y una componente social como expresión de la comunidad, el método científico incluye los elementos propios del investigador, su orden, su lógica, su estética, . . . y otros característicos de la cultura científica particular que por su probada eficacia se han transformado en normas y patrones para el trabajo científico, socialmente reconocidas.

## PRODUCTORES DE CULTURA VS. CONSUMIDORES DE CULTURA

La reflexión sobre las ciencias como culturas científicas permite recurrir al concepto de producción cultural, para mirar nuestra ciencia no sólo en Colombia sino en América Latina. Quiero entrar en el estilo de los extremismos y dividir a la humanidad en dos grandes grupos: Los productores de cultura y los consumidores de cultura.

Entonces, aunque nos duela, tenemos que aceptar que somos consumidores de cultura científica. Hasta tal punto el consumismo nos consume, que diariamente se esgrimen como disculpas para no hacer buena ciencia, la falta de los últimos equipos producidos en Estados Unidos, Europa o el Japón; o la falta de revistas, donde poder consumir cultura, o la presencia en nuestro país "así sea por una temporada" de los "grandes investigadores" para que nos orienten y nos abran otros caminos. Por esa vía nunca podremos llegar a hacer buena ciencia. Si nosotros creemos que de verdad la evolución y el desarrollo del hombre, por lo tanto de la ciencia, marchan en espiral y que hay unos adelante y otros atrás, y que sólo existe ese camino para el progreso, no nos queda más remedio que continuar por siempre consumiendo cultura (o los desperdicios de la cultura) de los que van adelante. Pero si nos atenemos más bien a la experiencia de las revoluciones científicas por ejemplo la operada en la Física entre 1900 y 1930 vemos claramente cómo hasta las teorías más firmemente establecidas, son remplazadas por otras más audaces y poderosas, surgen cuando se le dió credibilidad a la imaginación más exuberante. Entonces podemos tener confianza en el futuro si somos capaces de autoafirmar nuestros valores culturales en forma integral y abrir nuevos caminos para nuestro progreso.

Pienso que la cultura y la autoafirmación cultural son las herramientas fundamentales para la conquista de "espacios de libertad", entendiendo por esto los ámbitos científicos, económicos, políticos, artísticos, etc..., donde el hombre pueda realizarse plenamente.

Una de las características de los "espacios de libertad" es que "hay que conquistarlos, (pues nadie los regala), mantenerlos y desarrollarlos, (pues todos quieren ocuparlos), con miras a una libertad plena, indeclinable".

## CIENCIA Y HUMANISMO\*

JOSE LUIS VILLAVECES C.

Supongo que todos los presentes en este auditorio de la Facultad de Ciencias tienen una idea de qué es la Ciencia, aunque es posible que pocos puedan explicarla con claridad. Supondré un consenso en cuanto a ella y comenzaré por analizar lo que vamos a entender hoy por Humanismo. Veamos en primer lugar lo que dice el Diccionario:

**HUMANISMO:** Consideración acerca de lo que constituye la esencia o la naturaleza del hombre (humanitas). La esencia de lo humano (la humanidad del hombre) era una "esencia clausa"; era obligatorio del hombre conocerla y realizarla. Sólo cuando éste la realiza ha alcanzado en sí su esencia.

El ideal humanista es que el hombre alcance su esencia, sea humano, permanezca fuera de lo in-humano.

El concepto de humanismo renacentista es más amplio: trata del descubrimiento del hombre en cuanto tal, de la primacía de lo humano en un doble nivel, el referido al individuo y a la humanidad. Durante el Renacimiento se acusan dos corrientes de interés humanista: a) la de los eruditos y los que buscaban el ideal de su tiempo en los clásicos, y b) la de los que buscaban a un hombre nuevo.

Actualmente la especulación humanista se desarrolla desde una perspectiva distinta. No importa tanto el descubrimiento de la esencia humana como el camino y los medios que conducen a la realización de la libertad humana; es a través de la libertad que el hombre descubre su dignidad como persona. En el siglo XX se impone progresivamente la idea de un humanismo vivido, no vuelto hacia los paradigmas de la antigüedad, sino abierto a un futuro marcado por la promoción histórica de todo el hombre y de todos los hombres, concreta y diversificada según los distintos contextos culturales y

\* Conferencia dictada en el Auditorio Luis Montoya Valenzuela, por invitación de los estudiantes de Química Farmacéutica que edita el periódico mural "Reflujo", con ocasión de la iniciación del Primer Semestre Lectivo de 1986, publicada por "Noticias Químicas" en 1986.



sociales. El humanismo contemporáneo no consiste en asimilar un patrimonio cultural ya elaborado, sino que se presenta (como una exigencia de promoción humana vivida en el seno de un grupo social históricamente determinado).

Los planteamientos humanistas se desarrollan ahora a partir de un contexto real y realista, configurado por los diversos fenómenos de alienación del hombre en sus propias obras.

(Tomado del Diccionario Enciclopédico Salvat).

¿Qué interés tiene el preocuparse por la "esencialidad humana" para el estudiante de Ciencias, para el científico de nuestro tiempo, contemporáneo de la cibernética y la ciencia espacial, de la vida electrónica y la muerte nuclear?

Si la ciencia es la búsqueda de la verdad a través de la experimentación rigurosa, objetiva, libre de prejuicios individuales, ideológicos, políticos, raciales, sociales no necesitamos preocuparnos por la esencia de los hombres que la realizan, pues en la ciencia es la naturaleza misma la que nos revela sus verdades a través de la observación y la puesta a prueba rigurosa de las hipótesis.

El estudiante de Ciencias no debería malgastar su tiempo leyendo novelas o preocupándose por la historia antigua de su país ni de ningún otro. Debe ir a cine sólo para recrearse y poco gana leyendo poesía, observando cuadros o preocupándose por las crisis económicas y las relaciones internacionales.

Estas palabras, poco más o menos, son comunes en nuestro tiempo. La televisión, los medios de cultura de masas, el colegio las repiten, de manera abierta o sobrentendida. Los planeadores ministeriales de la educación piensan organizar un bachillerato diversificado para que aquellos jovencitos que al despuntar la adolescencia sientan inclinaciones técnico-científicas puedan consagrar todo su trabajo a ellas sin distraerse con las humanidades.

La Facultad de Ciencias ¿anacrónicamente? mantiene para sus estudiantes la obligación de cursar algunas "humanidades" y, sin haber cumplido con ese requisito no pueden esperar graduarse como científicos. ¿Será que ya llegando el siglo XXI nos decidimos a entrar en el siglo XX y eliminar esta aburridora exigencia que tanto ha molestado a generaciones de estudiantes que ya pasaron por estas aulas?

Hace algún tiempo fui Director de la Carrera de Química y, en ejercicio de mis funciones, recibí numerosas peticiones de estudiantes que deseaban ahorrarse este requisito, o pasarlo de la forma más ligera posible, tal vez sustituyéndolo por algo verdaderamente útil en nuestros días, como aprender a leer en inglés (artículos científicos solamente, por supuesto).

Invariablemente me opuse a ello e hice por el contrario un gran esfuerzo por intensificar las humanidades en mi carrera y en todas las carreras de Ciencias. Como parte de ese esfuerzo organicé, durante el largo cierre del 84, un Seminario en el cual trabajamos sobre este asunto con estudiantes y profesores. Uno de los resultados del Seminario es que los refluantes me invitaron hoy a hablar sobre el tema.

Y voy a aprovechar para contarles por qué creo que los futuros científicos deben tener una sólida formación humanística.

Mi razón es muy sencilla: simplemente, la afirmación de "la ciencia es la búsqueda de la verdad a través de la experimentación rigurosa, libre de prejuicios individuales, ideológicos, políticos, raciales y sociales, de que en la ciencia es la naturaleza misma la que nos revela sus verdades a través de la observación y la puesta a prueba rigurosa de las hipótesis" no pasa de ser una gran mentira.

Acuñada, entre otros, por Descartes quien, frente al ejemplo de lo que había sucedido a Galileo, buscó un espacio en el cual poderse mover sin la intervención de la inquisición. Para ello argumentó que la Ciencia no podía decir nada sobre las cosas divinas, que pertenecían al campo del dogma y la revelación. Recíprocamente, la Iglesia no debería argumentar sobre las cosas de la experimentación y la ciencia.

Este fue un gran paso hacia adelante en su tiempo.

Años más tarde, adicionada a esta posición la división de labores propia del modo de producción capitalista que se impuso en todo el mundo, muchos científicos se especializaron en serio, tomando la palabra especialista en el sentido de aquel que ignora todas las cosas del saber humano menos una. Perdieron la visión de conjunto de su obra, y la preocupación de saber de dónde vienen y para dónde van, trabajando muy eficientemente en la construcción de algo que desconocen y sobre lo cual no tienen ningún control.

Mi afirmación es que el científico que no entienda la ciencia como el resultado de un trabajo de seres humanos enfocado en una perspectiva humanística global está condenado a no entender nada de ella y a no poderla controlar. Si no entiende la ciencia como un trabajo cultural y no la enmarca dentro de su historia y su sociedad se convierte en un obrero calificado, el producto de cuya labor le es extraño y hostil. Estos "científicos" jamás podrán desarrollar a su sociedad.

No es fácil argumentar a favor de esta afirmación en el reducido espacio de tiempo de una conferencia. Por ello, en vez de argumentar, voy a tratar de ilustrar lo que quiero decir con tres cuadros de sendos

momentos de la historia de las ciencias en el siglo XX. Sería muy bueno si ellos suscitaban una discusión posterior.

### ZURICH, 1900:

Con sus escasos 150.000 habitantes, la pintoresca ciudad de Zurich a orillas del lago del mismo nombre era, al comenzar el siglo XX, punto de cruce de todos los movimientos revolucionarios europeos. Así como el ágora ateniense había sido el lugar de los diálogos de Sócrates con Parménides y Alcibiades, los cafés de Zurich servían de marco a las discusiones de los revolucionarios rusos de todo tipo: marxistas, nihilistas, sionistas... Desde la edad media, Zurich era considerado como un lugar lleno de belleza y sabiduría. En el siglo XVI se decía "A quien Dios ama le otorga una casa en Zurich".

Los estudiantes y revolucionarios rusos de las últimas tres décadas del siglo XIX no iban a buscar el amor de Dios sino la libertad de estudiar y preparar la revolución que no encontraban en su patria.

"La libre Suiza que a nadie expulsaba de sus fronteras ni de sus escuelas, era el país favorito de estos nuevos peregrinos y la célebre ciudad de Zurich era su Jerusalén. De todos los puntos de Rusia, de las llanuras del plácido Volga, del Cáucaso, de la lejana Siberia, jovencitas de apenas dieciséis años provistas de magros equipajes partían solas a un país desconocido, ávidas de ese saber que constituía la única seguridad de lograr la independencia en la cual soñaban. Y cuando llegaban a ese país de sus sueños no sólo encontraban escuelas de medicina sino también un gran movimiento social del cual no tenían la menor idea".

(Texto de Stepniak, citado por L. S. Feuer en "Einstein et le Conflict des Générations". Ed. Complexe, Presses Universitaires de France, 1974).

Plekhanov, el profeta del Marxismo Ruso, llegó a Zurich en 1893. Alexandra Kollontai, la primera mujer en el Soviet de Petrogrado, más tarde embajadora de la Unión Soviética en Noruega y México, llegó en 1898. Rosa Luxemburgo, líder del ala izquierda del partido social-demócrata alemán, asesinada en 1919, al fracasar la Revolución Alemana, se instaló desde 1889 en el número 77 de la Universitätsstrasse. Al año siguiente se inscribió en la Universidad de Zurich, en la Facultad de Filosofía y siguió cursos de Ciencias Naturales y Matemáticas.

Pavel Akselrod, otro activista revolucionario ruso que en 1874 debió huir de su patria y se convertiría en el segundo hombre del marxismo ruso, vivió también en Zurich. Vera Zasulich, que había tratado de asesinar al gobernador de San Petersburgo, fue otra de las rusas famosas de Zurich. Akselrod, Plekhanov y Zasulich formaban el comité redactor de Iskra, el periódico de los marxistas rusos, cuando Lenin

se unió al grupo. Lenin y Trotski pasaron varias temporadas en Zurich. Fue de Zurich que partió Lenin en un vagón sellado para atravesar Alemania con destino a Suecia y Rusia en 1917.

No sólo los rusos llegaban a Zurich. Muchos jóvenes judíos que veían limitadas sus posibilidades de estudio y desarrollo en Alemania, Polonia, los países balcánicos, y otras regiones de Europa, llenaban también los cafés de Zurich, y quienes no se adherían a los movimientos revolucionarios se entusiasmaban por el recién fundado movimiento Sionista. En esta agitación turbulenta de ideas y discusiones entre hombres y mujeres que cambiarían enteramente la faz del mundo en pocos años, todos debían tomar partido.

Chaim Weizmann, quien sería en 1948 el primer presidente del Estado de Israel, escribía en 1900 a un amigo estudiante en Berlín:

"Aquí, entre los estudiantes suizos, más o menos, socialistas... la atmósfera creada por Plekhanov, el general de la revolución rusa... ha tenido un efecto pernicioso. He visto socialistas incapaces de decir dos palabras sin jurar, escupir o calumniar a alguien tres veces. Debo confesar que no tengo el menor respeto por estos representantes de la conciencia social y de la justicia social".

(Citado por L. S. Feuer, op. cit.).

Entre los jóvenes a quienes Weizmann habría clasificado como materialistas, cuya herencia cultural judía había sido descompuesta por su relativismo, se encontraba Albert Einstein, quien estudió en la Escuela Politécnica Central de Zurich entre 1896 y 1900, y pertenecía a un círculo de jóvenes intelectuales animados de sentimientos de revuelta social y científica, que constituyeron una "contracomunidad" de hombres de ciencia y de bohemios cosmopolitas que, porque se situaban fuera de la comunidad científica oficial, iban a instaurar una era revolucionaria y una nueva concepción del mundo.

Einstein conoció directamente a muchos de los revolucionarios y simpatizó con ellos. De Rosa Luxemburgo diría que ella era "demasiado buena para este mundo".

El físico Friedrich Adler, amigo íntimo de Einstein discutió con él muchas veces las ideas de Marx y de Mach, de las cuales trató de hacer una síntesis. En 1909 fue nombrado profesor de Física en la Universidad de Zurich, pero renunció en favor de su amigo Einstein para quien esto representaba el primer nombramiento como profesor universitario. Einstein vio en este acto una confirmación suplementaria de la imagen que se había hecho de Adler como un hombre de carácter impecable. Cuando Adler fue juzgado en 1917 por haber asesinado al primer ministro Sturgkh, Einstein intervino decisivamente en favor suyo.

El clima de Zurich había hecho mucho bien al joven Einstein cuando llegó a estudiar allí en 1896. Venía él del Gimnasio Luitpold de Munich donde la disciplina lo exasperaba y le hacía odiar la institución escolar. En Zurich, por el contrario, descubrió la alegría de vivir, se hizo ciudadano suizo y, a pesar de su timidez, frecuentó muchos círculos de estudiantes y profesores y aprovechó plenamente las bibliotecas de Zurich, amplias y muy bien dotadas, libres de papeleos, con excelentes catálogos, y con anaqueles abiertos para todo el mundo, como cuenta Lenin.

Fue este el ambiente de profunda libertad revolucionaria, de mezcla de razas e ideologías, de contestación generacional y antiacademismo militante, en el cual nació la Teoría de la Relatividad, gestada en las discusiones de los cafés, donde se reunía la Academia Olympia, antiacademia formada por Einstein y sus camaradas.

No podemos afirmar, demasiado simple sería, que bastaron estas condiciones sociales y culturales para que se produjera el paso revolucionario en la Física. Creemos, sí, que sin ellas no se habría dado. Las condiciones de la teoría estaban dadas. El éter tenía problemas desde los experimentos de Michelson y Morley. La "contracción de Lorentz" había sido postulada, se había visto ya la dificultad de reconciliar el electromagnetismo Maxwelliano con la mecánica Newtoniana. Se necesitaba un genio de la talla de Einstein para entrever una salida a ello. El genio se forjó en el turbulento ambiente de la ciudad de Zurich. Si se olvida esto caemos también en simplismos al explicar su audacia teórica. Los hombres construyen las leyes naturales a imagen y semejanza de las leyes de la sociedad en la cual viven o en la cual les gustaría vivir. Es imposible entender unas sin tener en cuenta las otras. Sólo mirando de conjunto la actividad de los hombres que hacen la ciencia es posible comprender ésta. Esa es la perspectiva humanista en ciencia.

### ALEMANIA DESPUES DE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL

El capitalismo había recorrido toda la parte ascendente de su curva de desarrollo a lo largo del siglo XIX.

Las revoluciones burguesas, en los Estados Unidos, en Francia, en las Repúblicas Iberoamericanas, en Europa en 1830 y en 1848 habían ido consolidando la dominación de la burguesía. Donde se mantuvieron los tronos, la aristocracia quedó sometida a la hegemonía del capital industrial. La economía se hizo planetaria. El "Continente Negro" con su inmensa reserva de materias primas y compradores para todos los mercados entró a la economía europea como un enjambre de colonias. La Reina de Inglaterra se hizo emperatriz de la India. Francia inventó el concepto de "América Latina" para lograr ascendente sobre nosotros. Las potencias europeas se repartieron a la China. El mundo entero era un mercado de los capitalistas europeos.

Dos Revoluciones Industriales; la primera en Inglaterra apoyada por el vapor, la segunda en Alemania apoyada en la Síntesis Orgánica habían llevado la productividad del capital a límites insospechados.

Sólo había un problema: el mundo se había acabado. Al comenzar el siglo XX no había más mercados que conquistar, no había más tierras que colonizar. Cuando Amundsen llega al Polo Sur en 1911 cierra el ciclo de los Grandes Descubrimientos Geográficos, pero no integra esta última tierra "descubierta" al mercado capitalista.

La única vía de desarrollo que quedaba al capital, era la destrucción de los competidores. El país cuya industria se desarrollaba más rápidamente en ese momento, cuya tecnología parecía la más adelantada, era, naturalmente, el más agresivo. Alemania y Austria, las "potencias centrales", las dos estrellas del mundo germánico, declararon la guerra a las demás potencias imperialistas. El sentido de esta guerra, cuyo sentido era absolutamente distinto al de todas las que la habían precedido. Por esto, los europeos la llamaron la "Gran Guerra". Cuando terminó, el mundo había cambiado, para siempre.

La "belle époque" que había marcado la apoteosis del desarrollo capitalista dio paso a la confusión y la desesperanza. A la sensación de que todo lo que había hecho la solidez de la civilización se había derribado. Thomas Mann lo cuenta en su novela "Dr. Faustus":

"La recordé algo más tarde, durante la primavera de 1919".

"Yo tenía la impresión de que se terminaba una era que englobaba no solamente el siglo XIX, sino que se remontaba al final de la Edad Media, hasta la ruptura de las trabas escolásticas, hasta la emancipación del individuo, hasta el nacimiento de la libertad; era a la cual yo consideraba en realidad como un clima espiritual; en resumen, la época del humanismo burgués. Yo tenía, digo, la impresión de que su hora había sonado ya, que se iba a realizar una mutación de la vida, que el mundo pasaba por un signo astral innominado todavía. Aquel sentimiento que me incitaba a aplicar intensamente mis facultades receptivas más elevadas, no procedía sencillamente del resultado de la guerra. Procedía de su mismo comienzo, catorce años después del nacimiento del nuevo siglo; estaba en la base del sobresalto ante el destino que en aquel momento habían experimentado los espíritus de mi clase. No era extraño que nuestra disolvente derrota llevase aquel sobresalto hasta el paroxismo; nada extraño tampoco que predominase mucho más en un país aniquilado como Alemania, más que en los pueblos victoriosos, en que el estado de ánimo por término medio, era más conservador, justamente por su victoria. Para ellos, la guerra no representó, como para nosotros, una profunda y decisiva solución de continuidad histórica".

(Thomas Mann. "Dr. Faustus", Cap. XXXIV).

El arte que se desarrolla en Alemania en este período es tal vez el testimonio más impresionante de este sobresalto. El cine expresio-

El clima de Zurich había hecho mucho bien al joven Einstein cuando llegó a estudiar allí en 1896. Venía él del Gimnasio Luitpold de Munich donde la disciplina lo exasperaba y le hacía odiar la institución escolar. En Zurich, por el contrario, descubrió la alegría de vivir, se hizo ciudadano suizo y, a pesar de su timidez, frecuentó muchos círculos de estudiantes y profesores y aprovechó plenamente las bibliotecas de Zurich, amplias y muy bien dotadas, libres de papeleos, con excelentes catálogos, y con anaqueles abiertos para todo el mundo, como cuenta Lenin.

Fue este el ambiente de profunda libertad revolucionaria, de mezcla de razas e ideologías, de contestación generacional y antiacademismo militante, en el cual nació la Teoría de la Relatividad, gestada en las discusiones de los cafés, donde se reunía la Academia Olympia, antiacademia formada por Einstein y sus camaradas.

No podemos afirmar, demasiado simple sería, que bastaron estas condiciones sociales y culturales para que se produjera el paso revolucionario en la Física. Creemos, sí, que sin ellas no se habría dado. Las condiciones de la teoría estaban dadas. El éter tenía problemas desde los experimentos de Michelson y Morley. La "contracción de Lorentz" había sido postulada, se había visto ya la dificultad de reconciliar el electromagnetismo Maxwelliano con la mecánica Newtoniana. Se necesitaba un genio de la talla de Einstein para entrever una salida a ello. El genio se forjó en el turbulento ambiente de la ciudad de Zurich. Si se olvida esto caemos también en simplismos al explicar su audacia teórica. Los hombres construyen las leyes naturales a imagen y semejanza de las leyes de la sociedad en la cual viven o en la cual les gustaría vivir. Es imposible entender unas sin tener en cuenta las otras. Sólo mirando de conjunto la actividad de los hombres que hacen la ciencia es posible comprender ésta. Esa es la perspectiva humanista en ciencia.

### ALEMANIA DESPUES DE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL

El capitalismo había recorrido toda la parte ascendente de su curva de desarrollo a lo largo del siglo XIX.

Las revoluciones burguesas, en los Estados Unidos, en Francia, en las Repúblicas Iberoamericanas, en Europa en 1830 y en 1848 habían ido consolidando la dominación de la burguesía. Donde se mantuvieron los tronos, la aristocracia quedó sometida a la hegemonía del capital industrial. La economía se hizo planetaria. El "Continente Negro" con su inmensa reserva de materias primas y compradores para todos los mercados entró a la economía europea como un enjambre de colonias. La Reina de Inglaterra se hizo emperatriz de la India. Francia inventó el concepto de "América Latina" para lograr ascendiente sobre nosotros. Las potencias europeas se repartieron a la China. El mundo entero era un mercado de los capitalistas europeos.

Dos Revoluciones Industriales; la primera en Inglaterra apoyada por el vapor, la segunda en Alemania apoyada en la Síntesis Orgánica habían llevado la productividad del capital a límites insospechados.

Sólo había un problema: el mundo se había acabado. Al comenzar el siglo XX no había más mercados que conquistar, no había más tierras que colonizar. Cuando Amundsen llega al Polo Sur en 1911 cierra el ciclo de los Grandes Descubrimientos Geográficos, pero no integra esta última tierra "descubierta" al mercado capitalista.

La única vía de desarrollo que quedaba al capital, era la destrucción de los competidores. El país cuya industria se desarrollaba más rápidamente en ese momento, cuya tecnología parecía la más adelantada, era, naturalmente, el más agresivo. Alemania y Austria, las "potencias centrales", las dos estrellas del mundo germánico, declararon la guerra a las demás potencias imperialistas. El sentido de esta guerra, cuyo sentido era absolutamente distinto al de todas las que la habían precedido. Por esto, los europeos la llamaron la "Gran Guerra". Cuando terminó, el mundo había cambiado, para siempre.

La "belle époque" que había marcado la apoteosis del desarrollo capitalista dio paso a la confusión y la desesperanza. A la sensación de que todo lo que había hecho la solidez de la civilización se había derribado. Thomas Mann lo cuenta en su novela "Dr. Faustus":

"La recordé algo más tarde, durante la primavera de 1919".

"Yo tenía la impresión de que se terminaba una era que englobaba no solamente el siglo XIX, sino que se remontaba al final de la Edad Media, hasta la ruptura de las trabas escolásticas, hasta la emancipación del individuo, hasta el nacimiento de la libertad; era a la cual yo consideraba en realidad como un clima espiritual; en resumen, la época del humanismo burgués. Yo tenía, digo, la impresión de que su hora había sonado ya, que se iba a realizar una mutación de la vida, que el mundo pasaba por un signo astral innominado todavía. Aquel sentimiento que me incitaba a aplicar intensamente mis facultades receptivas más elevadas, no procedía sencillamente del resultado de la guerra. Procedía de su mismo comienzo, catorce años después del nacimiento del nuevo siglo; estaba en la base del sobresalto ante el destino que en aquel momento habían experimentado los espíritus de mi clase. No era extraño que nuestra disolvente derrota llevase aquel sobresalto hasta el paroxismo; nada extraño tampoco que predominase mucho más en un país aniquilado como Alemania, más que en los pueblos victoriosos, en que el estado de ánimo por término medio, era más conservador, justamente por su victoria. Para ellos, la guerra no representó, como para nosotros, una profunda y decisiva solución de continuidad histórica".

(Thomas Mann. "Dr. Faustus", Cap. XXXIV).

El arte que se desarrolla en Alemania en este período es tal vez el testimonio más impresionante de este sobresalto. El cine expresio-

nista de Fritz Lang el alucinado "Gabinete del Dr. Caligari", y tantas otras películas de ese período, muestran el esfuerzo de una generación que estaba tratando de encontrar un nuevo sentido al mundo. La reacción violenta en música contra todo lo que había sido el romanticismo burgués, contra Wagner y Brahms, la búsqueda de formas totalmente nuevas de expresarse siguiendo el camino atonal de Schönberg y de Alban Berg nos muestran también el esfuerzo de inventarse de nuevo el mundo. El punto más avanzado lo alcanzaron los dadaístas. El Dadá fue la revuelta misma. Sanouillet nos explica lo que distingue a este movimiento de todas las escuelas estéticas modernas: no contento con cuestionar ciertos conceptos o ciertas técnicas sobrepasadas, encarna la forma más aguda de un espíritu de subversión individual que invadió esa época. Breton lo había sentido desde 1919: El propósito reconocido de Dadá era "matar el arte".

El movimiento se origina en el "Cabaret Voltaire" de Zurich y en 1916 adopta el nombre "Dadá". Es en 1919 y 1920 que, bajo la inspiración del rumano Tristan Tzara debería hacerse internacional. En Francia tuvo un pequeño auge, del cual nació rápidamente el Surrealismo, que es la versión conservadora del Dadá desarrollada por los victoriosos, que no necesitaron la "profunda y decisiva solución de continuidad histórica". Es en el ala alemana del Dadá que se encuentra el más decidido esfuerzo para matar el arte, para pensar todo de una manera absolutamente distinta, removiendo hasta sus cimientos la realidad. Lo más representativo de ello son tal vez los extraños Merzbilder realizados con collages de toda clase de basuras por Kurt Schwitters.

En los años veinte la crisis de la Física toca fondo. Los esfuerzos para explicar el comportamiento del átomo a partir del modelo planetario de Niels Bohr entran en un callejón sin salida. El trabajo de los teóricos entre 1919 y 1925 ha sido descrito como "adivinación sistemática" (Van der Waerden, "Sources of Quantum Mechanics" Dover, 1967. p. 8). La luz se volvía partícula, las partículas se volvían ondas, el espacio se llenaba de "osciladores virtuales" y de toda esta confusión fue surgiendo entre una generación de jóvenes germánicos, Schrödinger, Heisenberg, Jordan, Born, la idea de que lo que habíamos tomado como realidad hasta ese momento no era sino una imagen aproximada y falsa. Que nuestras sensaciones se habían equivocado. Que el sólido mundo que nos habían revelado nuestros sentidos era apenas una ilusión. Que las cosas eran y no eran al mismo tiempo. Que nuestras ideas más firmes, el espacio, el tiempo, el camino de los cuerpos eran pura apariencia. La revolución filosófica, el cambio más total sobre nuestra concepción de la realidad lo dieron los jóvenes que tuvieron que asumir el destino descrito por Thomas Mann. Parte fundamental del clima espiritual que había desaparecido con la Gran Guerra era la imagen Newtoniana del mundo. La solidez del mundo burgués incluía la solidez del materialismo burgués. Las dos se disolvieron al mismo tiempo y la muerte del arte coincidió con la muerte de la física clásica.

Las ecuaciones estaban escritas desde antes. La coincidencia formal entre el Principio de Fermat que explica la trayectoria aparente del rayo de luz por el movimiento de una onda y el principio de Hamilton que trata de la misma manera a la trayectoria de una partícula era conocida y olvidada o considerada sólo como una curiosidad. Para romper con las ideas antiguas y atreverse a pensar al mundo de nuevo, para enfrentar al mundo paradójico y extraño que salió de las ecuaciones de la mecánica cuántica fue necesario que se derrumbara el mundo burgués clásico. Fue en este escenario dejado por la Gran Guerra, fue entre aquellos para quienes representó una profunda y decisiva solución de continuidad histórica que se produjo la solución de continuidad teórica.

Todo esfuerzo de entender la nueva teoría sin tener esto en cuenta resulta incompleto. Sólo en la perspectiva de ese momento capital de la Historia, al terminar la Gran Guerra, puede verse lo que significó la Teoría que construyeron los germanos de la posguerra. Esta es la perspectiva humanista necesaria en Ciencia.

Cuando ella no está presente se cae en las burdas fábulas sobre el mundo del átomo que tan frecuentes son en nuestros libros de texto.

### COLOMBIA 1936

El Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia se fundó el 30 de octubre de 1936. Ocho años antes se había fundado el Laboratorio Químico Nacional. La fundación de estas dos instituciones marca el comienzo de la preocupación oficial del Estado por la Química, el nacimiento de una comunidad de hombres dedicados a hacer Química como su labor principal.

El interés por la Química en nuestro país no era nuevo. En 1803 había habido ya una Cátedra de Química en el Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. En Antioquia, a mediados del siglo XIX hubo Laboratorios Químicos que ayudaron a los mineros. No en balde el platino fue descubierto en Colombia:

"En el partido del Chocó habiendo muchas minas de *Lavadero*, como las que se acaban de explicar, se encuentran también algunas, en donde por estar disfrazado, y envuelto el *Oro*, con otros cuerpos metálicos, Jugos y Piedras, necesita para su beneficio el auxilio del *Azogue*; y tal vez se hallan minerales, donde la *Platina* (piedra de tanta resistencia, que no es fácil romperla, ni desmenuzarla con la fuerza del golpe sobre *Yunque de Acero*), es causa de que se abandonen; porque ni la calcinación la vence, ni hay arbitrio para extraer el *Metal* que encierra, sino a expensas de mucho trabajo y costo".

(Palabras de Don Juan Antonio de Ulloa en la relación conjunta con Jorge Juan sobre su viaje a América con la Comisión de la Condamine, citadas por Ramiro Osorio en su Historia de la Química en Colombia. 1.

ed. p. 93; véase sin embargo Espinosa A. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias, Número 60, 1986).

Ulloa es considerado como el primero que advirtió durante su estancia en Colombia, a finales de 1735, que en el Oro se encontraba un metal nuevo y el primero en darlo a conocer públicamente en 1748.

Pero, a pesar de estos honrosos comienzos, la Química siguió siendo durante siglos una actividad marginal, ligada a la práctica de otras artes, como la minería y la medicina, hasta la década del treinta en nuestro siglo, que comienza con la fundación de una institución nacional para hacer Química y termina con un Departamento de Química en la Universidad Nacional, con estudios profesionales de esta ciencia en la misma universidad, con una carrera de Ingeniería Química en la Universidad Bolivariana, y con la fundación de la Sociedad Colombiana de Químicos.

¿Por qué se da ese interés por la Química en nuestro país en esa época?

Podemos pensarlo como algo interno. Hombres como Jorge Ancizar Sordo, Antonio María Barriga Villalba, Eduardo Lleras Codazzi y Antonio García Banús, entre otros, coincidieron en aquellos años en nuestro territorio y tuvieron la suerte de que su interés por la Química tuviera acogida de autoridades universitarias y nacionales.

Pero es precisamente esa acogida la que resulta curiosa en un país tradicionalmente despreocupado de la ciencia. Nuestra hipótesis es que, además de los individuos existían las condiciones sociales, económicas y políticas que la hicieron posible y sin entender las cuales no podemos comprender el nacimiento ni la orientación que adoptó la ciencia química en nuestro país cuando se forma la comunidad química, hace medio siglo.

Esa hipótesis recibe confirmación del propio presidente de la República, Alfonso López Pumarejo, en su mensaje al Congreso en 1935:

"Pero todas nuestras empresas necesitan un conjunto de trabajadores especializados que no existe en el país. Los promotores, organizadores y directores de ellas carecen generalmente de conocimientos técnicos que no suelen adquirir sino a costa de experiencias fracasadas y ruinosas. *Faltan químicos industriales*, directores de taller, mecánicos, agrónomos y no tenemos institutos que estén tratando de prepararlos, las facultades universitarias producen abogados, doctores en filosofía y ciencias sociales, médicos, ingenieros y dentistas. Y esto no es suficiente. La Universidad colombiana deberá preocuparse muchos años por ser una escuela de trabajo más que una Academia de Ciencias. Es urgente ponernos al día en el manejo elemental de una civilización importada, cuyos recursos ignoramos y cuyos instrumentos escapan a nuestro dominio. Mientras ello no ocurra no habrá autonomía nacional, no habrá independencia económica, no habrá soberanía".

(Citado por Gerardo Molina: "Las Ideas Liberales en Colombia", Tomo III, p. 25. Subrayado nuestro).

No es coincidencia si al año siguiente de este mensaje presidencial surge el Departamento de Química de la Nacional y si dos años después se fundan las carreras de Química en esta Universidad y de Ingeniería Química en la Bolivariana.

La figura de Antonio García Banús a cuya memoria está dedicada nuestra biblioteca fue determinante en la formación de gentes dedicadas en Colombia a la Química como actividad fundamental. Español, la guerra civil lo había obligado a refugiarse en precarias condiciones económicas en París, donde lo conoció Eduardo Santos, quien lo invitó a venir a nuestro país. Magnífica actitud de otro presidente liberal, que formaba parte coherente de todo lo que era política de la "República Liberal". La nueva burguesía, a la que representaba como ninguno López Pumarejo, había decidido lanzar al país por la vía del desarrollo industrial y necesitaba para ello crear la infraestructura inexistente, así como reformar toda la relación de producción agrícola. Desarrollo Industrial y Reforma Agraria fueron los dos objetivos de su gobierno, que llevó al ápice la vocación industrial iniciada desde las postrimerías del gobierno conservador y fortalecida por la crisis de 1929. El impulso había nacido. En 1931 Olaya Herrera estableció el proteccionismo. Entre 1930 y 1933 se fundaron 842 establecimientos industriales que aprovechaban el entusiasmo de los empresarios, la infraestructura eléctrica y de transportes que se había comenzado a establecer y la aparición de cierta mano de obra especializada. (G. Molina, op. cit. p. 23).

En 1934 López fue elegido presidente y desde su discurso de posesión observó que nuestro atraso se debía a nuestra débil capacidad de trabajo, siendo el principal culpable el Estado, "que ha dejado de cumplir con la primera de sus obligaciones": preparar a los ciudadanos para que sepan aprovechar la riqueza del país y para que sus actividades no sean un penoso arar que no produce resultados proporcionales al esfuerzo que demandan".

Es en este esfuerzo consciente de la joven burguesía liberal. En este propósito de combatir la falta de capacitación que veían como principal freno a la industrialización, que surgen los estudios de Química entre nosotros. La personalidad de nuestra carrera está fuertemente marcada por este comienzo. La Química se organiza para hacer industria. Más que explicar la estructura de la materia y su comportamiento, lo que importaba era la capacidad para utilizar el conocimiento químico en el aprovechamiento de nuestros recursos y en la creación de riqueza.

Los primeros egresados realmente cumplieron ese papel. La planta de soda, la fábrica de cloro, las Acerías Paz del Río, Icollantas y



muchas otras empresas fueron el resultado de esta generación que creó y manejó la industria química colombiana hasta que la Segunda Guerra Mundial vino a cambiar radicalmente nuestras posibilidades.

Los planes de estudio iniciales, los primeros proyectos de investigación, las relaciones laborales, estuvieron signadas por el deseo de desarrollo industrial. No es este entusiasmo causa suficiente. No basta el deseo y el tezhón de unos hombres preparados para formar una comunidad. Antes de que esta burguesía tomara el poder entre nosotros ya había habido intentos de hacer Química entre nosotros, como los de Jorge Tadeo Lozano, o Ezequiel Uriceochea, que no lograron prosperar. Pero sí fueron causas necesarias el entusiasmo de algunos amigos de la Química y el deseo de industrialización de la burguesía que tomó el poder para que este entusiasmo cristalizara en la creación concreta de una nueva comunidad que comenzó a tener influencia en la vida nacional y cuyos orígenes y vocación no podríamos entender sin tener en cuenta la coyuntura económica, social y política en la cual se dio, es decir, sin considerarla en conjunto como el resultado del trabajo de seres humanos que vivieron en una sociedad concreta y que, con todos sus problemas y limitaciones, entusiasmos y esperanzas, crearon lo que es nuestra ciencia química hoy.

Espero que estos tres ejemplos ayuden a ilustrar lo que quiero decir cuando afirmo que una sólida formación humanística es indispensable en Ciencias. Que no es posible entender las teorías científicas sin conocer el ambiente social, cultural, histórico, económico en que se formaron. Que el arte o la política son un complemento indispensable para la comprensión de la ciencia. Creo que la lectura de Thomas Mann o Herman Hesse, la audición de la música de Schönberg o la visión del "Gabinete del Dr. Caligari" son tan importantes para el entendimiento de la Mecánica Cuántica como la resolución de todos los ejercicios de un buen libro de texto. Un estudio atento de la reforma de nuestra constitución en 1936, con su énfasis en el valor social del trabajo, es tal vez la mejor forma de entender el sentimiento de responsabilidad social del trabajo en química que ha constituido la nota dominante de la mayor parte de los esfuerzos de los químicos colombianos, que ha presidido la organización de los planes de estudio, de las Sociedades y de los Congresos.

El científico que no lea novelas ni escuche música, que no se preocupe por las leyes fundamentales de su sociedad no puede entender las leyes fundamentales de la naturaleza. Probablemente, por no haber perdido el tiempo en esas preocupaciones será muy eficiente y con sus técnicas ayudará eficazmente a construir algo que desconocerá por completo.

## DEL CONOCIMIENTO PREVIO A LOS CONCEPTOS MODERNOS\* Un caso. Calor: ¿fluido o movimiento?

FLOR MARINA POVEDA G.

Actualmente en todos los niveles de la educación, especialmente en el primario y el secundario, se enseñan conceptos que han perdido vigencia pero que constituyen el conocimiento que le da contenido al lenguaje cotidiano.

De mi experiencia en Química puedo citar varios casos:

Todavía existen textos y maestros que explican que los electrones en el átomo giran alrededor del núcleo describiendo órbitas de manera similar a como lo hacen los planetas alrededor del sol, concepción que fue rebatida en las primeras décadas de este siglo. Otros libros y profesores, más avanzados, definen orbital como el lugar del espacio alrededor del núcleo en el cual existe mayor probabilidad de encontrar el electrón, en este caso, se trata de una interpretación errónea de los resultados de la mecánica cuántica.

Si a un grupo de bachilleres, y aún de estudiantes universitarios, se les pregunta: ¿Qué es temperatura?, la mayoría responderá sin vacilar: "Es la medida del calor". ¡El túnel del tiempo los devolvió casi tres siglos y les creó una gran confusión!

Podría seguir enumerando más casos que confirman la tesis inicial, pero lo interesante es reconocer que este tipo de conocimientos se constituyen en obstáculos epistemológicos, que son barreras que impiden que el estudiante se apropie de los conceptos modernos y que a falta de comprensión recurra a la memoria para pasar un examen, pero que no tenga la capacidad para manejarlos y construir a partir de ellos.

Entonces nuestra primera tarea es poner a prueba ese conocimiento que trae el estudiante; es cuestionarlo y hacer evidente que

\* Artículo publicado en "Noticias Químicas", No. 43 (1986).



corresponde a teorías revaluadas, o bien, que son producto de interpretaciones incorrectas.

Para lograr esta meta es necesario recurrir a la historia de las ciencias pero no como una colección de nombres de descubridores, de fechas de realización de experimentos cruciales, de anécdotas interesantes, etc. Es el análisis epistemológico de la historia de las ciencias el que permite descubrir el origen de esos conocimientos previos, contrastarlos con los actuales y preparar al estudiante para apropiarse los conceptos de la Química Moderna; estimular en él la actitud crítica, la capacidad creadora y la comprensión de la función social de su actividad científica.

Este análisis histórico enseña además que las ciencias no están terminadas, que están en proceso de construcción y que en esa evolución, teorías que sirven para explicar los fenómenos conocidos en una época determinada, pueden fallar ante nuevos hechos y deben ser remplazadas por otras con mayor poder explicativo y de generalización.

En el ejemplo que me he propuesto exponer, hago un análisis breve sobre la transformación del concepto calor en los siglos XVIII y XIX para mostrar cómo las ideas de hace dos o más siglos perviven en nuestra cultura.

En nuestra comunicación cotidiana y aún en el lenguaje técnico tradicional utilizamos expresiones tales como: flujo de calor, flujo de energía, calor que entra, calor que sale.

Según el diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española, flujo significa acción y efecto de fluir; y este verbo, correr un líquido o un gas.

No es necesario hacer una reflexión muy profunda para descubrir que en esas expresiones se está considerando el calor como una entidad material con algunas características similares a las de un líquido o un gas.

Si exploramos un poco en la historia de la ciencia, podemos encontrar el origen de ese hecho.

El estudio y la explicación del fenómeno de la combustión constituyó un problema importante para los químicos del siglo XVIII, quienes a partir de su investigación desarrollaron algunas hipótesis sobre el calor.

Una de esas teorías fue publicada por el alemán George Ernst Stahl en 1718, dentro de un sistema de explicaciones según el cual las propiedades de los diferentes cuerpos son causadas por la presencia o ausencia de ciertos principios en ellos. De acuerdo con este para-

digma la combustibilidad se explica entonces como una propiedad de los cuerpos en los cuales está presente el principio inflamable.

A ese principio inflamable Stahl<sup>1</sup> dio el nombre griego FLOGISTO y le atribuyó las siguientes características:

"...no es únicamente apropiado para el movimiento del fuego, sino también son uno y el mismo ser..."

"...se disipa y volatiliza en partículas invisibles\* o, por lo menos, se desarrolla y forma un fuego invisible finamente dividido llamado calor".

"...no se encuentra reunido ya sea como líquido o en estado atenuado" (gas).

"...no hay ciencia conocida por el hombre ni arte no humano que pueda recolectarlo o encerrarlo entre límites restringidos, especialmente si la volatilización ocurre rápidamente y en cantidad".

Una vez postulado el flogisto, Stahl explica que los combustibles poseen gran cantidad de este principio, el cual por "adición de aire libre se atenúa y volatiliza" produciendo fuego y calor.

Recordemos que aunque a comienzos del siglo comenzaban a desarrollarse las técnicas para trabajar con gases, y los experimentadores iniciaban el reconocimiento de algunos de ellos ("aires"), la investigación química era todavía de carácter esencialmente cualitativo.

En esas condiciones era natural que Stahl le diera al "aire libre" únicamente el papel de "activador" del flogisto; no tuviera en cuenta la variación en peso del combustible al arder y, por tanto, no hiciera mención alguna al peso como una característica del principio inflamable.

Posteriormente el desarrollo de las técnicas de pesada y el descubrimiento de nuevos gases pusieron en evidencia hechos para los cuales la teoría del flogisto no tuvo explicación aceptable. Uno muy importante fue el aumento de peso experimentado por metales como el cinc y el magnesio cuando arden, ya que de acuerdo con la explicación de Stahl, el flogisto tendría entonces peso negativo.

Los seguidores de esta teoría fueron modificándola para tratar de explicar los nuevos hechos, sin lograrlo satisfactoriamente.

Una vez conocido el oxígeno (descubierto por Priestley y Scheele) el cuidadoso estudio cuantitativo de la combustión emprendido por

\* Los subrayados son míos.

Antoine L. Lavoisier, permitió a este científico francés explicar en 1777<sup>2</sup> cómo interviene ese gas en la combustión y postular el "fluido ígneo" o "materia del calor" al cual posteriormente dio el nombre de CALORICO.

Según Lavoisier<sup>4</sup> el calórico es un fluido eminentemente elástico, real o hipotético, cuya acumulación produce la "sensación que llamamos calor". "Puesto que esta materia sutil penetra a través de los poros de todas las sustancias conocidas, puesto que no existen recipientes de los cuales no escape y que no hay, en consecuencia, ninguno que pueda contenerlo sin pérdida, sólo se pueden conocer sus propiedades por sus efectos...".

También explicaba Lavoisier que "según la cantidad de calórico de que esté penetrado" un cuerpo será sólido, líquido o gaseoso.

Si desde nuestro punto de vista actual comparamos las características del Flogisto de Stahl con las del Calórico de Lavoisier, no es difícil suponer que se trata del mismo ente; esta no es una hipótesis descabellada; el mismo Lavoisier lo da a entender en la memoria "Reflexiones sobre el flogisto para servir de continuación a la teoría de la combustión y de la calcinación, publicada en 1777"<sup>3</sup>, cuando dice:

"Los partidarios de la doctrina del Flogisto no están más adelantados que yo en este aspecto y, si la existencia del fluido ígneo es una hipótesis, es común a mi sistema y al de ellos".

Además en su "Tabla de sustancias simples" en la cual presenta los nombres antiguos y los nuevos, al Calórico corresponden las denominaciones anteriores de Calor, Principio de calor, Fluido ígneo, Fuego; Materia del fuego y del calor.

Sin embargo no debemos perder de vista que aunque se trata de entes similares, corresponden a teorías diferentes: Mientras que para Stahl los combustibles liberan el flogisto en la combustión, para Lavoisier el calórico se desprende del gas oxígeno, cuando éste reacciona con los combustibles.

El lenguaje de Lavoisier permite más fácilmente hacer el análisis y la comparación entre el concepto de Calórico y el de Energía Interna, claro está, teniendo en cuenta que no pueden ser idénticos puesto que pertenecen a paradigmas diferentes (incommensurables), pero que sí son correspondientes, esto es, postulados para explicar los mismos fenómenos.

Así, por ejemplo, hoy aceptamos que para que un sistema mantenido a presión constante pase de la fase sólida a la fase líquida, o de ésta a la gaseosa, o para que su temperatura se eleve, es necesario

augmentar su energía interna; que en una combustión hay liberación de una gran cantidad de energía proveniente tanto del combustible como del oxígeno. Pero no damos a la energía ni al calor las características de fluido; no se aceptan como entidades materiales.

En aquella época también había investigadores para quienes el calor no era un fluido; a este respecto es muy útil leer la conferencia "La naturaleza del calor"<sup>5</sup> dictada por Joseph Black en la Universidad de Edimburgo durante la segunda mitad del siglo XVIII, de la cual son los siguientes fragmentos:

"La única conclusión que él (Lord Verulam\*) puede deducir de la totalidad de sus hechos, es una muy general: que el calor es movimiento. Esta conclusión se basa principalmente en la consideración de los varios medios por los cuales se produce calor o se hace aparecer en los cuerpos; como la percusión del hierro, la fricción de cuerpos sólidos, la colisión del pedernal con el acero...".

... "La mayoría de filósofos ingleses supusieron que este movimiento está en las pequeñas partículas de los cuerpos calientes e imaginan que es un rápido temblor o vibración de estas partículas...".

... "Pero la mayoría de los filósofos franceses y alemanes y el Dr. Boerhaave han supuesto que el movimiento del cual consiste el calor no es un temblor o vibración de las partículas del cuerpo caliente en sí mismo, sino de las partículas de una materia fluida penetrante, sutil, altamente elástica, la cual se halla contenida en los poros del cuerpo caliente o interpuesta entre sus partículas...".

Es evidente, entonces, que al final del siglo XVIII había dos teorías en pugna sobre el calor: la que sostenía que éste es un fluido y la que lo considera como movimiento de las partículas que conforman los sistemas; es decir, la teoría sustancialista y la teoría dinámica del calor.

Benjamín Thompson (el Conde de Rumford) realizó una serie de experimentos encaminados a poner a prueba la teoría sustancialista, acerca de los cuales informó el 25 de enero de 1798 ante la Royal Society of London. Estos experimentos le fueron sugeridos, mientras trabajaba en el arsenal de Munich, por la observación de los fenómenos que ocurrían en el proceso de perforación de los cañones. Los siguientes son apartes del informe<sup>6</sup> mencionado:

... "¿Qué es el calor? ¿Hay una cosa tal como fluido ígneo? ¿Hay algo que pueda llamarse con propiedad calórico?"

\* Francis Bacon (siglo XVI-XVII).

Hemos visto que se puede excitar una cantidad muy considerable de calor en la fricción de dos superficies metálicas y emitir en una corriente o flujo constante en todas direcciones sin interrupción o intermedio y sin signo alguno de disminución o agotamiento.

...¿De dónde vino el calor que fue emitido continuamente de esta manera en los experimentos anteriores?...

A continuación analiza una por una todas las posibles fuentes y con base en los resultados experimentales, de la misma manera las va descartando. Finalmente concluye:

...“Cualquier cosa que un cuerpo, o sistema de cuerpos, aislado pueda producir continuamente sin limitación no puede ser una sustancia material y me parece extremadamente difícil, si no casi imposible formarse una idea clara de algo capaz de excitarse y comunicarse, de la manera como el calor fue excitado y comunicado en estos experimentos, a no ser que esto sea MOVIMIENTO”.

Los resultados de estos experimentos, cuidadosamente planeados y realizados, llevaron a Rumford a refutar la teoría sustancialista apoyando la teoría dinámica del calor, y le dieron la posibilidad de relacionar el trabajo con el calor.

Sin embargo el medio científico de entonces no estaba preparado para captar la trascendencia de sus conclusiones y fue necesario que transcurrieran algo más de cuarenta años para que esas ideas cristalizaran.

En el siglo XIX, en la década de los 40, Julius Robert Mayer (alemán), James P. Joule (inglés), Ludwing August Colding (danés) y H. von Helmholtz (alemán), independientemente calcularon el equivalente mecánico del calor y enunciaron lo que actualmente conocemos como Primer Principio de la Termodinámica.

En 1842 Mayer escribió un artículo con el título “Sobre las fuerzas de la naturaleza inorgánica”<sup>7</sup>, el cual inició así:

“El propósito del siguiente artículo es buscar una respuesta a la pregunta: ¿Qué estamos entendiendo por fuerzas y cómo están relacionadas unas con otras?”.

En sus escritos este investigador utiliza la denominación fuerza para lo que actualmente llamamos energía; hace un análisis de la interconvertibilidad de las diferentes formas de energía mecánica y de la relación de éstas con el calor, y enuncia la hipótesis de conservación de la energía. Este enunciado es más claro en su artículo de 1845<sup>8</sup>, “El movimiento de los organismos y su relación con el metabolismo”, donde expresa:

“El efecto es igual a la causa. El efecto de la fuerza (léase energía) es de nueva fuerza. La inalterabilidad cuantitativa (invarianza) de lo supuesto es una de las leyes fundamentales de la naturaleza que se aplica igualmente a fuerza y materia”.

...“En todos los procesos físicos y químicos la energía involucrada permanece constante”.

Joule en 1843, en su artículo “Sobre los efectos caloríficos de la magneto-electricidad y sobre el valor mecánico del calor”<sup>9</sup>, escribió:

“Una vez probado que la máquina magneto-eléctrica genera calor, y que por medio del poder inductivo del magnetismo podemos disminuir o incrementar a placer el calor debido a los cambios químicos, surge como objeto de gran interés investigar si existe una razón constante entre éste y el poder mecánico ganado o perdido”.

Más adelante concluye:

“La cantidad de calor capaz de incrementar la temperatura de una libra de agua en un grado de la escala Fahrenheit es igual a, y puede ser convertida en, una fuerza mecánica capaz de elevar 838 libras a una altura perpendicular de un pie”.

Según Kuhn<sup>10</sup>, Colding publicó su hipótesis en 1851 y Helmholtz en 1847, y solamente este último tenía algún conocimiento del trabajo realizado por los demás.

Debemos tener en cuenta que si no se hubiera reconocido la interconvertibilidad de la energía mecánica y el calor, no hubiera sido posible llegar a la hipótesis de conservación de la energía como una ley general de la naturaleza. Antes de lograr esta generalización, se conocía la conversión de VIS MUERTA (energía potencial) en VIS VIVA (el doble de la energía cinética), pero cuando en los procesos se producía calor se hablaba de la “destrucción de la vis viva”.

El estudio realizado nos ha mostrado que ya en el siglo XVIII se había desarrollado la hipótesis dinámica sobre el calor a partir del estudio de la relación entre los fenómenos mecánicos y los térmicos; pero al mismo tiempo la investigación del proceso de combustión dio lugar a las explicaciones sustancialistas del calor: La teoría del Flogisto, refutada y remplazada por la hipótesis de Lavoisier, la teoría del Calórico.

De esa manera, en aquel entonces coexistieron dos teorías diferentes sobre el mismo hecho físico; sin embargo, los defensores de la hipótesis dinámica diseñaron experimentos cuyos resultados refutaban la sustancialista. Estos resultados fueron reforzados con el descubrimiento de la interconvertibilidad de las energías mecánica, eléctrica, magnética, química y el calor; es decir, por el establecimiento

del principio de conservación de la energía como una ley de la naturaleza.

Tanto Meyer como Joule en sus escritos concluyen que es un absurdo seguir considerando el calor como una sustancia "a no ser que la materia pueda convertirse en atracción a través del espacio" argumenta el último. Por su parte, Mayer expresa:

"Permítanme decir una gran verdad: No hay materiales inmateriales! Entendemos que estamos peleando contra una hipótesis de hondas raíces, canonizada por altas autoridades; con los imponderables\* intentamos abolir los últimos restos de los dioses de Grecia del estudio de la naturaleza. Pero también sabemos que la naturaleza en su verdad simple es mayor y más majestuosa que cualquier estructura construída con la mano del hombre y todas las ilusiones creadas por su mente".

No obstante, siglo y medio después en nuestro lenguaje cotidiano pervive el sustancialismo, y todavía en libros de texto como la Físicoquímica de Castellan<sup>11</sup> se encuentra la siguiente definición de calor, tomada según el autor de S. A. Beattie, "Lectures on Elementary Chemical Thermodynamics":

"En Termodinámica se define calor como una cantidad que fluye a través de la frontera de un sistema durante un cambio de estado, en virtud de una diferencia de temperatura entre el sistema y su medio exterior, y que fluye de un punto de mayor a un punto de menor temperatura".

Para alguien sin un conocimiento de la historia del concepto, o que por primera vez enfrenta el estudio de la termodinámica, esa definición podría satisfacerle. Mas no será el caso de quienes hayan analizado, o entren a hacerlo, la evolución del concepto calor; ellos tendrán los elementos necesarios para criticarla y entender dentro de cuál paradigma se inscribe.

Nota: Esta investigación fue iniciada en 1984 con la colaboración del entonces estudiante de Química Edgar Daza.

\* Se refiere aquí a los fluidos Calórico, Eléctrico, Magnético y Lumínico, postulados dentro del sustancialismo, para explicar los respectivos fenómenos.

## BIBLIOGRAFIA

1. STAHL, E. G., "Zufalige Gedanken und nützliche Bedencken über den Streit von dem sogenannten Sulphure, und zwar sowohl dem gemeinen, verbrennlichen, oder flüchtigen, als unverbrennlichen oder fixen". Halle, 1718. Fragmentos tomados de Leicester, H. M.; Klickstein, H. S., "A Source Book in Chemistry 1400-1900", McGraw-Hill Book Co., INC., N. Y., Toronto, London, 1952, pp.58-63.
2. LAVOISIER, A. L., "Memoria sobre la combustión en general", en Halperin Donghi, L.; "Lavoisier", Centro Editor de América Latina, S. A., 1967, p. 37.
3. Ibid., p. 62.
4. LAVOISIER, A. L., "Introduction of the term 'caloric' for the substance of heat" en "Energy: Historical Development of the Concept". Editado por R. Bruce Lindssay, 1975, p. 204.
5. BLACK, J., "The nature of heat". Ibid. pp. 199-200.
6. THOMPSON, B., "Source of heat from friction". Ibid. p. 224.
7. MAYER, J. R., "On the force of inorganic nature". Ibid. pp. 277-283.
8. MAYER, J. R., "The motions of organisms and their relation to metabolism. Ibid. pp. 286, 305, 307.
9. JOULE, J. P., "On the calorific effects of magneto-electricity, and on the mechanical value of heat". Ibid. pp. 334, 341.
10. KUHN, T. S., "Critical Problems in the History of Science", University of Wisconsin Press, Madison, 1959, en "La Tensión Esencial", Fondo de Cultura Económica, México, 1982, p. 91.
11. CASTELLAN, G. W., "Físicoquímica", Fondo Educativo Interamericano S. A., 1974, p. 105.

## DE LOS CURSOS TEORICOS Y DE LOS CURSOS PRACTICOS Y DE SU PAPEL EN LA ENSEÑANZA DE LA QUIMICA\*

---

GERMAN CUBILLOS A.  
JOSE LUIS VILLAVECES C.

La palabra Teoría viene del griego THEORIA, que es la acción de observar. Esta acción de observar es un poco compleja. Se encuentra esta palabra por primera vez en un texto de Herodoto que dice: "Siendo usted un filósofo, ha visitado muchas tierras para 'teorizarlas'", es decir, para verlas en el sentido de conocerlas. En el sentido original, teoría es observar con especial atención, para conocer.

El Larousse nos da la siguiente definición: Teoría: Del griego THEORIA: Acción de observar. Conjunto de reglas, de leyes sistemáticamente organizadas que sirven de base a una ciencia y que dan explicación a un gran número de hechos.

En su estudio sobre las carreras de Química en Colombia, PUERTA<sup>1</sup> nos dice que las teorías son enunciados universales que se caracterizan por la aplicación lógica de las matemáticas para representar los fenómenos de la naturaleza.

Más cercana al origen etimológico de la palabra es la definición de los estudiantes de Química de la Nacional en 1976<sup>2</sup>, quienes hablan de la teoría como el proceso por medio del cual el sujeto descubre las propiedades del objeto y sus relaciones, sistematizándolas en postulados y leyes; definición que podemos acerca a la de Agazzi<sup>3</sup> quien define Teoría como la formulación de la compleja totalidad de conocimientos que se poseen a propósito de un cierto ámbito de la realidad y, a continuación insiste en que lo más importante de esta definición de la Teoría es que no se habla de los conocimientos sino de su formulación.

Vemos, a través de estas definiciones, abrirse dos vertientes distintas de comprensión de lo que es una teoría. Una pasiva: La teoría

---

\* Ponencia presentada al V Congreso Colombiano de Química, Medellín, octubre de 1983.



es un conjunto de reglas ya enunciadas, organizadas, formuladas. La otra activa: Teoría es acción de observar, proceso de descubrimiento, formulación de leyes. La primera es ahistórica: la teoría se nos presenta como un producto acabado, fuera de la corriente histórica. La segunda es histórica, activa. En ella la teoría es el movimiento por el cual el sujeto se apodera del objeto, como etapa indispensable a toda transformación de éste por aquel. En este movimiento, el sujeto teorizante produce lo que el Larousse ratifica en el producto: Los postulados y las leyes...

En la concepción pasiva, la teoría no es histórica sino historiografía: al hacer teoría no se hace historia, sólo se cuenta lo que sucedió en ella.

Nos inscribimos nosotros en la acepción que deriva de la etimología original y por lo tanto entendemos por "TEORIA" no las leyes, sino su formulación. El movimiento hacia el conocimiento y no lo que quedó de él después de haber pasado.

Nuestro problema en este trabajo no es el de filosofar sobre el concepto de "Teoría"; si bien era importante reconocer estas dos vertientes, activa y pasiva de la comprensión de este concepto.

Nuestro problema es reflexionar sobre los llamados cursos "teóricos" que se encuentran en las carreras de Química y cuya característica sobresaliente parece la de ser dictados en un salón de clase, haciendo uso extensivo de la palabra del profesor y del tablero y, eventualmente, de ayudas audiovisuales.

De acuerdo con una acepción corriente, en un curso teórico, "la lección trata sobre la deducción, demostración o análisis de las teorías elaboradas para explicar los fenómenos de la naturaleza"<sup>4</sup>. Según esta concepción, a los cursos teóricos no se iría a hacer teoría sino a trabajar sobre las teorías que otros hicieron. En primer lugar, a hablar sobre ellas. En segundo lugar a redemostrarles o rededucirlas. ¿Qué objeto puede tener rededucir teorías que ya fueron elaboradas por otros? Hablaremos de ello más adelante.

## DE LA PRACTICA

La definición de "PRACTICA" es también compleja. El Larousse nos dice que práctica es la aplicación de las reglas y principios de un arte o de una ciencia, por oposición a la teoría.

El Diccionario Salvat la define como el ejercicio de cualquier arte o facultad, conforme a sus reglas.

Las definiciones se multiplican, puesto que "práctica" es también la destreza adquirida con el ejercicio de un arte o facultad. Es igualmente la costumbre de una cosa, un acto continuado. Es práctica

el modo & método que particularmente observa uno en sus operaciones. Práctica se llama también a la aplicación de una idea o de una doctrina a la realidad. Incluso el contraste experimental de una teoría es a veces llamado práctica.

En el contexto pedagógico, práctica se refiere a los ejercicios que, bajo la dirección de un maestro y durante cierto número de años, tienen que hacer los alumnos de ciertas disciplinas para aprender a poder ejercer públicamente su profesión.

En el caso concreto de la Química, la práctica puede estar encaminada a la aplicación de sus leyes, reglas y principios para la producción de objetos, de artefactos socialmente útiles o por lo menos potencialmente útiles.

Pero, también puede la práctica estar orientada a producir conocimiento, mentefactos socialmente útiles, aunque su utilidad no sea inmediata o aunque a veces parezcan socialmente inútiles.

En la primera forma de práctica, a la cual podemos llamar práctica profesional, las reglas de la Química son seguidas en la mejor forma posible. En su forma óptima. Con el objeto de producir con la máxima eficacia el resultado deseado.

En la segunda forma, por el contrario, las normas procedimentales pueden ser violadas, tienden a serlo. El objetivo de ello es conocer, aunque ello implique que la producción concreta disminuya. Esta es la experimentación.

Vemos así que la práctica se abre en dos polos que denominaremos práctica profesional y práctica científica.

Esta polarización se presenta con especial agudeza en la práctica de la Química, que mira con una de sus caras a la industria y con la otra a la investigación.

No nos mueve a hablar aquí de práctica el interés por profundizar en la difícil categoría filosófica que lleva este nombre. Nuestro interés, de nuevo, es ver a qué corresponden los cursos llamados "prácticos" en las carreras de Química y qué implicaciones ha traído el hecho de que así sean llamados.

De nuevo, es frecuente oír decir que la finalidad de los cursos prácticos en el currículo de Química sería la de desarrollar habilidades en el manejo de ciertos procedimientos o técnicas, para la recolección de datos que han de ser relacionados por medio de conceptos teóricos en la solución de problemas<sup>4</sup>.

Nos parece que esta definición es a la vez exageradamente amplia y muy restrictiva.

Exageradamente amplia puesto que en treinta palabras intenta colocar toda una gama de actividades que abarca desde el desarrollo



de habilidades hasta la solución del problema. Todas estas actividades están relacionadas con la misma cosa: la práctica de la Química; pero es a todas luces exagerado pretender que la finalidad de todos y cada uno de los cursos prácticos las abarque a todas ellas.

Exageradamente restrictiva, asimismo, puesto que a pesar de su amplitud deja muchos aspectos por fuera.

La práctica química es compleja, bipolar y multiforme. Implica la transformación del objeto por un sujeto pensante y la transformación del mismo sujeto al involucrarse en la del objeto. Implica aumentar el conocimiento y transformar la materia. Implica producir bienes socialmente útiles que al ser utilizados transforman a la misma sociedad.

Los cursos de "práctica" sólo son, sólo pueden ser, acercamientos parciales, desde distintos ángulos a variados aspectos de esta práctica.

No son, por lo tanto, práctica, sino entrenamiento en diversos aspectos de ella.

¿Qué objeto puede tener el trabajar en esta forma fraccionada y disjunta? ¿Qué utilidad puede tener esta "práctica" que es repetición y no descubrimiento? ¿Qué seriedad puede verle un estudiante a una teoría que se comprueba diez veces por semestre? ¿Qué impresión puede quedarle de esta "comprobación"? Una bien errónea, a no ser que le aclare que no está comprobando teoría, sino practicando el arte de comprobar teorías. Que no es lo mismo.

Por eso, si el objetivo de los cursos prácticos es el de desarrollar habilidades, la lista anterior es exageradamente restrictiva, pues le falta, por lo menos, la importantísima habilidad de hacerse preguntas, de reflexionar "prácticamente", es decir, de experimentar, de reflexionar teóricamente y de producir conocimiento. Que es la que más clara debería tener el estudiante.

### PROCESO EDUCATIVO Y TRABAJO PEDAGOGICO

Entendemos que el proceso educativo en Química se compone de una serie de actividades encaminadas a orientar al estudiante en la formación de su propio conocimiento sobre la estructura y propiedades de la materia. Con frecuencia se oye decir que en la docencia el profesor "transmite el conocimiento", y ésto no es cierto. El conocimiento no puede ser transmitido. El conocimiento proviene de una acción de pensamiento del sujeto que conoce. Y sólo él puede pensar. Nadie puede transmitirle el pensamiento o pensar por él. El pensamiento es un proceso que puede, sin embargo, ser inducido a través de una serie de operaciones, de labores, de trabajo compartido

por profesor y estudiante, a través del cual el estudiante puede repensar lo que otros ya pensaron, para llegar a conocer. Este es el trabajo pedagógico.

En este procedimiento se trata de entender el aprendizaje como un trabajo, como una labor, en la cual el estudiante, trabajando sobre, trabajando con, trabajando desde los conceptos, se apropia de ellos y llega a conocerlos.

En este procedimiento son indispensables dos actividades íntimamente relacionadas: el trabajo pedagógico teórico y el trabajo pedagógico experimental de los conceptos básicos de la Química.

#### Trabajo Pedagógico Teórico:

El trabajo pedagógico teórico consta de: Información general, reconstrucción histórica de las condiciones en las cuales surgieron las teorías, planteo de hipótesis alternativas, demostraciones lógico matemáticas, enfrentamiento de tesis competitivas, determinación de la extensión y estructura de los conceptos, análisis y reconstrucción histórica de las condiciones en las cuales surgen, se desarrollan, triunfan, se degradan, caen y mueren las leyes, las hipótesis, los postulados.

#### Trabajo Pedagógico-experimental:

Significa: Reconstrucción de los experimentos de base para la validación del concepto. Desarrollo de habilidades en el manejo de procedimientos y técnicas. Realización de experimentos ilustrativos, recolección de datos y trabajo sobre esos datos, diseño de nuevos experimentos que pongan a prueba o ilustren los conceptos, correlación de los datos por medio de conceptos teóricos y, también correlación, solución de problemas.

El estudio teórico y el estudio experimental no son dos cosas distintas. Son los dos lados de una misma moneda, y así como no podemos separar la cara del sello sin destruir la moneda, no podemos separar la parte teórica de la parte experimental, sin romper el proceso del conocimiento.

### DE LOS CURSOS TEORICOS

El curso teórico debe ser el conjunto de acciones por las cuales, a través del trabajo pedagógico se inducen en el estudiante los actos de pensamiento que lo llevan a conocer los conceptos fundamentales de la Química.

El trabajo pedagógico teórico no es lo mismo que el trabajo teórico. En el trabajo pedagógico teórico se habla sobre las teorías deducidas por otros y se las redemuestra o se las rededuce. No para de-



mostrarlas o deducirlas una vez más y así acumular prueba tras prueba de que son "verdaderas". Tampoco para convencer al estudiante incrédulo que no se traga entero el resultado.

El trabajo pedagógico sobre las antiguas teorías tienen como objeto vincular al estudiante al proceso de demostración. Que el estudiante, trabajando en demostraciones conocidas, aprenda a demostrar él mismo. Pero, sobre todo, para que el estudiante a través de este trabajo, compartido con el profesor, llegue a inducir en sí mismo los procesos de reflexión, de interrogación y de pensamiento que lo lleven a conocer los conceptos químicos en cuestión.

El objetivo del trabajo pedagógico teórico es conocer. Si el estudiante realiza una serie de actos de demostración de leyes conocidas, de formulación y ensayo de nuevas hipótesis, de búsqueda y procesamiento de información, es normal que aprenda a buscar y procesar información, a formular y ensayar hipótesis, a demostrar leyes, con lo cual aprende a teorizar él mismo.

Este no es sino un objetivo secundario. El objetivo verdadero es que a través de ese proceso, el estudiante aprenda los conceptos. Los asimile. Los haga suyos. Y sea capaz de utilizarlos luego en cualquier situación en la que haga Química y no sólo cuánto le toca teorizar en un contexto igual al del curso.

### DE LOS CURSOS PRACTICOS

El curso práctico debe ser el conjunto de acciones por las cuales, a través del trabajo pedagógico se inducen en el estudiante los actos de pensamiento que lo llevan a conocer los conceptos fundamentales de la Química.

El trabajo pedagógico práctico no es lo mismo que el trabajo práctico. En el trabajo pedagógico práctico se reconstruyen los experimentos que validan ciertas leyes, no para comprobarlas de nuevo, sino para vincular al estudiante al proceso de comprobación.

Se hace un jabón no para que el estudiante aprenda a hacer jabones sino para que se vincule a los procesos de la tecnología química. Adiestrar a alguien en la fabricación de jabones supone hacerlo repetir la serie de operaciones implicadas en la manufactura del jabón, con el objeto de que pase el resto de su vida fabricando jabones. En el trabajo pedagógico práctico se hace el jabón y se piensa en lo que se está haciendo. Se habla de la saponificación de los ésteres y se reflexiona sobre las titulaciones en medio no acuoso. Se interroga sobre la tensión superficial y sobre los efectos dermatológicos de una sal. Se produce el jabón con el objeto de llegar a conocer los conceptos de la industria química y ser capaz de resolver problemas tecnológicos donde se los encuentre.

El objetivo del trabajo pedagógico práctico es conocer.

Si el estudiante realiza una serie de experimentos en los cuales desarrolla habilidades experimentales, es normal que aprenda a manejar ciertas técnicas y ciertos aparatos, que aprenda a recoger datos y a procesarlos; que aprenda a diseñar nuevos experimentos, con lo cual aprende a practicar él mismo. Este no es sino un objetivo secundario. El objetivo verdadero es que, a través de ese proceso, el estudiante aprenda los conceptos básicos de la Química. Los asimile. Los haga suyos. Y sea capaz de utilizarlos luego en cualquier situación en la que haga Química y no solamente cuando le toque utilizar las mismas técnicas o procedimientos vistos en el curso. **Esto último sería adiestramiento.**

No es el objetivo de los cursos teóricos adiestrar al estudiante para que pase su vida teorizando, ni el de los cursos prácticos adiestrarlo para que pase su vida aplicando las mismas técnicas que aprendió.

El objetivo de los dos tipos de curso es el mismo: inducir la formación de un químico integral, capaz de utilizar la Química en cualquier tipo de situación sea similar o radicalmente distinta de la que vivió en sus cursos. Lo cual sólo puede lograrse si el estudiante asimiló, hizo suyos, aprendió los conceptos básicos de la Química.

El estudio teórico y el estudio experimental resultan así ser inseparables. No puede concebirse su separación. Cualquier intento de hacerlo rompería el proceso pedagógico. No puede aprenderse una cosa si sólo se ven sus pedazos, sus fragmentos.

Creemos que los cursos teóricos y prácticos que se dictan actualmente en nuestras universidades, son, salvo contadas excepciones, bastante buenos y, que si se mira el contenido del curso, sus objetivos declarados, su metodología y los esfuerzos que dentro de él hace el profesor, el balance es siempre positivo. Sin embargo, la falta de reflexión sobre estos temas hace que toda esta calidad sea en general desaprovechada, sea perdida, cuando no contraproducente.

No es frecuente que se reflexione en los Departamentos de Química sobre el papel de los cursos teóricos y prácticos. Ni sobre qué es teorizar o practicar.

Aún menos sobre los conceptos de trabajo pedagógico teórico y trabajo pedagógico práctico. En vez de ello, se usan indiscriminadamente las palabras "TEORIA" y "PRACTICA", sin tener en cuenta que bajo las mismas palabras existen conceptos tan diversos, tan complejos. Con frecuencia no se retiene de ellos más que lo que citábamos al principio: Teoría es algo verbal, práctica es algo manual. No hay sino un paso desde esta situación hasta la idea general en nuestro gremio, de que teoría es vana especulación, es habladera de

paja; de que lo único útil es lo manual, lo que se hace con las manos sin pensar en ello.

Esta incompreensión de los conceptos de Teoría y Práctica, esta falta de reflexión sobre su papel en la educación, se levantan como un terrible obstáculo en el sentido bachelardiano, obstáculo que puede ser una de las fuentes principales de la dificultad que han tenido los químicos colombianos en ejercer su profesión, de la dificultad de la Química colombiana para imponer su papel en la sociedad.

La noción de obstáculo introducida por Bachelard se refiere a los efectos que la imagen que cada quien tiene de su trabajo producen sobre este trabajo.

El químico que, formado en esta irreflexión, tiene de su trabajo la imagen de que en él lo manual está separado de lo intelectual, de que teoría y práctica son, en Química, dos cosas distintas y opuestas, de que su trabajo es positivo sólo en tanto que práctico y no teórico, sólo en tanto que manual y no intelectual, está condenado a convertirse él mismo en un obrero eficiente en el más puro sentido tayloriano; en alguien ligado a la producción eficaz de algo que no conoce, que no entiende, que no puede dominar.

No importa qué tan bien adiestrado esté en la repetición de múltiples acciones, en el manejo de muchas y muy modernas técnicas, su trabajo será siempre dependiente, dominado. No será práctica real.

El docente que no reflexione sobre el papel de los cursos teóricos y prácticos. Que no reflexione con sus alumnos obre el curioso uso de las palabras "teoría" y "práctica" en la docencia, y su inmensa diferencia con el sentido que estos conceptos tienen en la vida profesional del químico, está condenado a favorecer la formación de los profesionales que describimos. Estará contribuyendo a que la siguiente generación de químicos tampoco logre incidir claramente en el desarrollo de nuestra sociedad.

#### BIBLIOGRAFIA

1. PUERTA, J. E., "Las Carreras de Química en Colombia", ICFES, Bogotá (1981), p. 55.
2. "Propuesta de Pénsum de la Carrera de Química", presentada por estudiantes en 1975. Mimeografiado, Carrera de Química, U. N. (1983), p. 2.
3. AGAZZI, E., "Temii e Problemi di Filosofia della Física". Ed. Abete, Roma (1974) "Temas y Problemas de Filosofía de la Física", Ed. Herder, Barcelona (1978), Sección 12.
4. Ver por ejemplo:  
PUERTA, J. E. op. cit. p. 35.

## ENSEÑANZA FORMALISTA E HISTORIA SOCIAL DE LAS CIENCIAS\*

JOSE LUIS VILLAVECES C.  
GERMAN CUBILLOS A.

La enseñanza formalista: El trabajo pedagógico en Química se ve con frecuencia abocado a conceptos que parecen simples formalismos desprovistos de interés. Cuando se presenta al estudiante una ciencia como un simple formalismo, es fácil para él aprender mecánicamente lo necesario para aprobar el curso, pero rara vez aprende lo suficiente para apropiarse de la ciencia y utilizarla constructivamente en el futuro, incorporándola a su práctica diaria.

La enseñanza del manejo de los equivalentes químicos, tal y como suele ser practicada en nuestro bachillerato o en los años iniciales de nuestras carreras universitarias, constituye un ejemplo típico de este problema.

Todo colombiano que haya pasado por el bachillerato recuerda que debió trabajar con pesos equivalentes y con pesos moleculares, que tuvo que calcular concentraciones de soluciones en molaridades y en normalidades. La mayoría recuerda que ese era "punto fijo" en las evaluaciones. Pero a pesar de haber aprendido esta técnica y de haber aprobado los cursos, en un breve lapso son muy pocos los que recuerdan cómo se hacía, y menos aún saben por qué se hacía.

Es clásico el ejemplo del ácido sulfúrico  $H_2SO_4$ , cuyo peso molecular es 98. (Regla: "La suma del peso atómico de dos hidrógenos, un azufre y cuatro oxígenos"). Todos debimos calcular también su peso equivalente, que es 49. (Regla: "Puesto que tiene dos hidrógenos, el peso equivalente es igual al peso molecular dividido por dos"). Las reglas eran fáciles y con ellas aprendimos a saber cuándo el peso equivalente es igual al molecular, cuándo es la mitad, cuándo la tercera parte. Gracias a ellas respondimos nuestros exámenes, aprobamos el curso y poco tiempo después, sabiamente, las olvidamos.

\* Artículo publicado en "Colombia: Ciencia y Tecnología", Vol. 3, No. 4, agosto de 1985, página 8.

El formalismo había reducido estos conceptos a algo fácil de aprender pero aburrido y desprovisto de interés.

Los químicos profesionales suelen recordar las reglas porque las utilizan con frecuencia. Pueden preparar exitosamente una solución 0.1 normal de alguna sustancia cuando así lo requieren pero rara vez tienen una comprensión de los conceptos que están detrás de su técnica. Por esto no saben cuándo utilizarla y cuándo no. Se la usa cuando así lo recomienda la Asociación Oficial de Químicos Analistas de los Estados Unidos. Es decir, se consume una receta, pero no se controla la praxis de la ciencia.

El problema pedagógico está planteado. Un estudiante inquieto podría preguntar: "¿Por qué calculamos equivalentes? Teniendo el peso molecular que corresponde al peso de la molécula y que es la suma de los pesos de los átomos que la constituyen, ¿para qué dividirlo por dos?".

Suele contestarse que los pesos equivalentes tienen una utilidad práctica: "Un volumen dado de una solución 0.1 normal de cualquier ácido se neutraliza exactamente con el mismo volumen de una solución 0.1 normal de cualquier base. Es más fácil utilizar soluciones preparadas en equivalentes que en pesos moleculares". Esta respuesta puede tranquilizar a quien debe hacer una titulación en su próxima práctica de laboratorio o a quien escogió una profesión en la cual se verá con frecuencia abocado a titular. Pero es experiencia general que este tipo de conceptos reducidos a su aspecto práctico dejan insatisfecho al estudiante, quien no los interioriza. Sólo se los apropia aquel que los usa mucho en la práctica y por eso acaba acostumbrándose a ellos. A pesar de su utilidad práctica, el equivalente seguirá siendo algo *sin sentido*.

El papel de la historia: En nuestra época, el trabajo pedagógico en ciencia involucra tanto a quienes realizan una reflexión filosófica como a quienes desarrollan una praxis científica. Nos encontramos en este simple ejemplo ante tres problemas claves de la cultura contemporánea: la filosofía de las ciencias, la metodología de las ciencias y la pedagogía de las ciencias.

En los últimos tres decenios, este espacio de reflexión se ha visto alterado por la llegada de un cuarto grupo de pensadores, preocupados por la historia de la ciencia, para quienes los problemas epistemológicos, metodológicos y pedagógicos pueden ser mejor trabajados si se los entrelaza íntimamente con un estudio histórico.

Si entendemos el conocimiento como un proceso a través del cual el hombre aprehende el mundo, su constitución y funcionamiento, entonces, tanto la reflexión sobre este proceso como su pedagogía, requieren de la dimensión temporal y dinámica que les da la historia.

El estudio de los contenidos de saber codificados en forma de leyes, teorías, modelos y técnicas; cristalizados en forma atemporal; plasmados en los materiales bibliográficos o en los museos, sólo alcanza a cubrir el aspecto informativo. De él pueden salir apenas elementos desarticulados y pasajeros en la mente del estudiante de ciencias quien podrá ver la coherencia lógica de una teoría, podrá hacer una reconstrucción racional de su historia, y tal vez localizar un experimento crucial para su verificación. Pero no tendrá los contextos de descubrimientos, no verá qué crisis internas o externas a la ciencia espolearon, ni la aparición de las nuevas teorías, métodos y conceptos. No comprenderá qué condiciones sociales, políticas o económicas favorecieron un programa de investigación.

El nivel puramente informativo o epistemológico clásico podrá ser trascendido al incorporar la perspectiva histórica. Desde ella, el estudiante podrá ver a la ciencia no como algo ya hecho, dado, revelado, sino como algo que se está construyendo en el proceso creador del hombre. Podrá ver las interpretaciones como algo maleable y cambiante que depende de condiciones internas y externas, que no es un objeto que se compra, se vende o se transmite. Podrá ver que su papel no tiene por qué ser el de un consumidor pasivo de algo ya construido por los genios que en el pasado habitaron el hemisferio norte, sino que pueden ser el de un sujeto activo capaz de vincularse al proceso de construcción de la ciencia, en el cual han participado y participan seres humanos como él.

La historia en la enseñanza: La forma más fácil de incorporar la perspectiva histórica es plantear las preguntas pertinentes. ¿Quién, cuándo y por qué introdujo la noción de equivalente?

Colocado el estudiante en los comienzos del siglo XIX puede verse que la teoría atómica de Dalton asignaba pesos atómicos siempre que se conocieron las fórmulas moleculares, o bien, permitía conocer las fórmulas moleculares sólo si se conocían los pesos atómicos. Círculo vicioso muy difícil de romper. Dalton sabía que 8 gramos de oxígeno se combinan con uno de hidrógeno. Tomando el peso del hidrógeno como la unidad, el peso atómico del oxígeno sería 8 si la fórmula del agua fuera HO, pero sería 16 si la fórmula fuera H<sub>2</sub>O, o 24 si la fórmula molecular fuera H<sub>3</sub>O. En este contexto, asignar el peso atómico 16 al oxígeno o el peso molecular 18 al agua, como hacemos en la actualidad, no tiene más sentido que asignarles 8 y 9 respectivamente. El peso molecular del agua no tiene sentido. Lo que sí tiene sentido es que por cada gramo de H hay ocho de O. Eso se puede verificar experimentalmente cuantas veces se desee. En una combinación química, ocho gramos de oxígeno son equivalentes a uno de hidrógeno.

La perspectiva histórica ha invertido el problema. Lo que tiene sentido en el siglo XX, no lo tenía en el XIX y viceversa. El estudiante inquieto de nuestro párrafo anterior puede preguntar cómo cam-

biaron tanto las cosas y tratar, él mismo, de resolver la dificultad de hallar pesos atómicos absolutos, de encontrar medidas independientes del peso molecular, o de hallar fórmulas químicas por métodos no gravimétricos, para romper el círculo vicioso.

La discusión entre peso atómico, peso molecular y peso equivalente ha cambiado de forma. Ya no hay concepto-cosa absoluto con un sentido físico absoluto. Lo que hay es un proceso histórico de construcción de conceptos, dentro del cual la importancia relativa de las ideas en construcción va cambiando. Lo que es real en una época lo es menos en otra.

Esta discusión corre el riesgo de ser vista desde un siglo XX absoluto. El estudiante puede pensar que él "sabe" que sí hay átomos y cuál es su peso. El problema habría sido sólo una imperfección durante la construcción de ese objeto que hoy ya está construido y que es la Química. Hubo afortunadamente quien descubrió el error o levantó la imperfección y las cosas se arreglaron para llegar a la "verdad", al objeto-ciencia ya terminado. En ese caso puede preguntarse por qué la noción de equivalente ha sobrevivido lo suficiente como para llegar a nuestros días; por qué si es una imperfección ya superada, se la sigue enseñando y preguntando como punto fijo en los exámenes.

Los grandes defensores de los equivalentes fueron Gerhardt, Dumas, y otros químicos de mediados del siglo XIX. Para ellos la pregunta sobre cuál podría ser el peso real de una molécula era una pregunta metafísica. Los átomos eran sólo una ficción conveniente para generalizar muchas observaciones experimentales, pero no eran accesibles directamente a la experiencia. Ellos eran positivistas. Discípulos contemporáneos de Comte. Pragmáticos como la burguesía cuyo poder ayudaron a consolidar. El equivalente era el tipo de concepto práctico y empírico que les placía. Los pesos de las moléculas tenían para ellos el mismo interés que el sexo de los ángeles.

La ciencia de hoy sigue siendo, en buena medida, empírica y positivista. Los textos de ciencia de nuestros colegios y universidades están llenos de afirmaciones: "Todo conocimiento comienza con la observación", "sólo la experiencia es fuente de verdad", "deben descartarse las hipótesis superfluas", "la explicación más simple de un fenómeno es la mejor", etc., etc. El estudiante puede ver que el problema, junto con su interpretación, siguen vivos hoy. Que si él ha aprendido buena ciencia del siglo XX y es un buen empirista, debe rechazar los pesos moleculares y guardar los equivalentes, o profundizar mucho más en los métodos empíricos para determinar aquellos. Si es un buen racionalista hará lo contrario. Es posible que vea que no hay "una solución ya dada" y que entienda que él puede vincularse al proceso de construir las. En todo caso, si ha participado en esta discusión y ha adelantado este estudio es mucho más difícil que a los pocos meses haya olvidado lo que son estos conceptos.

## ALQUIMIA: FILOSOFIA Y PRAXIS\*

GERMAN CUBILLOS A.

El devenir de la cultura implica un complicado proceso de construcción y destrucción, transformación y permanencia, enfrentamiento y solidaridad de corrientes culturales que emergen y dominan durante algunos períodos para sumergirse nuevamente y desaparecer o seguir un camino subterráneo y hacer presencia más poderosa cuando ya nadie las recuerda.

La Alquimia, esa cultura milenaria que tantas veces ha sido considerada como "madre de la Química", produce una fascinación particular en algunos de quienes transitamos los caminos de la historia de la Química en busca de pistas para la comprensión de su origen y desarrollo, justamente porque ha sido una cultura que se ha hecho presente en distintas épocas históricas y ha representado en cada caso un componente importante del saber de los pueblos. La Alquimia china, la Alquimia india, la Alquimia árabe, la Alquimia de Mesopotamia y Grecia fueron fuentes importantes de conocimientos teórico-prácticos para los núcleos sociales donde se desarrollaron. En algún momento fueron opacadas por otras culturas pero las encontramos después enredadas por efecto de las influencias culturales y del tiempo en la Alquimia posterior al siglo IX.

Esta nueva Alquimia es una de las vías necesarias en la búsqueda de los orígenes de la Química moderna no tanto como su predecesora inmediata sino como su polo de contradicción inmediato.

Puesto que las descripciones sobre la Alquimia en distintas épocas se encuentran con relativa facilidad en los libros de Historia de la Química, no parece muy importante rescatar aquí esos materiales sobre todo si no podemos hacerles ahora un aporte sustancial. Lo que

\* Este artículo corresponde a una síntesis de dos conferencias y un video: "Magia, Ciencia y Cultura", dictada en marzo de 1985 en la sede de la Asociación Química Colombiana; "Alquimia: Filosofía y Praxis", conferencia dictada en el Planetario Distrital en abril de 1985 y "De la Alquimia a la Química", video presentado en el V Congreso Colombiano de Química, Medellín, octubre de 1983.

parece más interesante es tomarlos como base para realizar una reflexión general y proponer una hipótesis sobre lo que fue la filosofía y la praxis de la Alquimia.

#### Principios filosóficos:

1. Tanto en oriente como en occidente ha estado presente en la mente de los hombres la idea de que todo cuanto existe debe estar constituido por unos pocos principios, generado por unos pocos agentes. Así en Mesopotamia, Baal el dios sol, principio cálido y activo, inmaterial y positivo, junto con Astaroth, la diosa madre, principio frío, pasivo y pesado, material y negativo controlarían el universo. Osiris e Isis fueron sus equivalencias en la cosmología egipcia y el Yin y el Yan en la filosofía oriental. La concepción aristotélica de los cuatro elementos fuego, aire, tierra y agua que predominaría durante más de diez siglos en occidente, es una de las respuestas griegas a la misma pregunta: ¿De qué están hechas todas las cosas?
2. En la naturaleza, igual que en la sociedad y en el cosmos en general, existen jerarquías. Los cuerpos celestes son mejores que los cuerpos terrestres y en la tierra existen unos hombres que son mejores que otros, y éstos mejores que los animales, y éstos mejores que las plantas, etc.,... y entre los metales existen unos más puros, mejores que otros.
3. Presente también en casi todas las culturas está la idea de "metamorfosis" de "transformación" de unas cosas en otras, algunas veces con intervención del hombre y en otras sin ella. Así las orugas se transforman en mariposas, las semillas en flores, árboles, espigas; los renacuajos en ranas, sin la intervención del hombre. Pero dominado el fuego y la agricultura, el hombre comienza a sentir y a ejercer su poder transformador.
4. Las propiedades de los cuerpos corresponden a cualidades y formas que están soportadas por la sustancia de que aquellos están hechos. Es una cultura sustancialista.
5. Todas las cosas del universo están relacionadas unas con otras; existe una unidad esencial de todo lo existente.
6. Puesto que esta unidad existe y "lo de arriba es igual a lo de abajo", como dirá la Tabla Esmeralda de Hermes Trimegisto, las dolencias del cuerpo pueden ser aliviadas con productos naturales, según sus propiedades y características sustanciales.
7. La relación sensorial con el mundo es la fuente más importante de conocimientos prácticos. Los libros antiguos de los grandes maestros son la fuente de conocimientos teóricos más importante.
8. El conocimiento del mundo está basado en el conocimiento de las cualidades de los cuerpos; los aspectos cuantitativos no tienen importancia.

9. El hombre puede perfeccionarse, ser mejor, purificarse por procesos y técnicas especiales, igual que todas las cosas de la naturaleza.
10. La Alquimia no es una ciencia para todos; sólo los iniciados pueden manejarla. Es una ciencia hermética.

Aunque esta filosofía propuesta aquí en forma de una serie de principios no haya sido descrita explícitamente en su momento y sólo en forma fragmentaria haya sido conocida por los alquimistas individualmente, fue el sustento de sus prácticas y es fácil descubrirla funcionando en algunos poemas, leyendas, definiciones y descripciones de la Alquimia, así como en otra serie de principios derivados de ella.

*Si hasta la hierba chu-sheng  
puede hacernos vivir más  
por qué no poner el elixir en la boca.*

*El oro no enmohece  
ni se corroe por la naturaleza  
luego es la más preciada de todas las cosas.*

*Cuando el artista lo incluye en su dieta  
la duración de su vida será eterna.*

*Cuando el oro penetra en las cinco entrañas  
se disipa la niebla como nubes dispersadas por el viento.*

*Los cabellos blancos se vuelven de nuevo negros  
los dientes caídos se reponen en su lugar  
el viejo adormecido es de nuevo un joven lleno de deseos,  
la vieja hecha ruina se vuelve otra vez joven  
aquel cuya forma ha cambiado  
y ha escapado de los peligros de la vida  
lleva por título el nombre de hombre verdadero<sup>1</sup>.*

Aquí varios principios filosóficos son extremados. Si el oro no es afectado por nada, si es el más perfecto de los metales, al ingerirlo transmitirá sus propiedades sustanciales a quien lo tomó, en virtud de la unidad esencial de todo lo existente.

La historia de Wei Po Yan (120 d.C.) nos revela los principios que hemos propuesto de una manera complementaria con la anterior ya que aquí se destaca el arte de preparar "la medicina" y el carácter hermético de la Alquimia.

Wei Po Yan se internó en las montañas para preparar la medicina eficaz. Había con él tres discípulos, dos de los cuales él creía que carecían de toda fe. Cuando la medicina estuvo preparada, los sometió a una prueba diciéndoles: "La medicina dorada está hecha pero hay que probarla prime-

ro en un perro. Si no le hace ningún daño podemos entonces tomarla nosotros; pero si el perro muere por su causa no debemos tomarla".

Wei Po Yan administró la medicina al perro y éste murió instantáneamente. Después de lo cual dijo: "La medicina no está lograda todavía. El perro ha muerto por su causa. ¿No indica esto que aún no hemos alcanzado la luz divina? Si la tomamos nosotros temo que sigamos el mismo camino que el perro. ¿Qué haremos?". Los discípulos preguntaron: "¿La tomaría usted mismo señor?". A lo que replicó Wei Po Yan: "Yo he abandonado la vida mundana y desamparado mi familia y mi casa para venir aquí. Me avergonzaría volver sin haber alcanzado la inmortalidad. Luego vivir sin tomar la medicina sería lo mismo que morir por ella; yo debo tomarla". Con estas palabras finales llevó la medicina a su boca y murió instantáneamente.

Viendo esto, uno de los discípulos dijo: "Nuestro maestro no era un ser común. Tomó la medicina y murió por ella. Debe haberlo hecho con alguna intención especial". A continuación tomó la medicina y murió. Entonces los dos discípulos se dijeron uno al otro: "El propósito al hacer la medicina es alcanzar la longevidad pero ésta ha causado la muerte. Será mejor no tomarla y poder vivir unas décadas más". Y dejaron la montaña juntos sin tomar la medicina con el propósito de conseguir lo necesario para el funeral del maestro y su discípulo. Después de la partida de los dos alumnos Po Yan revivió. Colocó parte de la bien preparada medicina en la boca del discípulo y del perro. En unos momentos revivieron los dos. Así comenzaron el camino de los inmortales<sup>2</sup>.

También complementario es el siguiente texto:

Sacrificad al horno y habréis hecho venir a los seres sobrenaturales, el polvo de cinabrio podrá ser transformado en oro amarillo; cuando hayáis producido oro amarillo podréis hacer con él utensilios para beber y comer y así tendréis una longevidad prolongada, podréis ver a los bienaventurados de la isla Pong'lai que está en medio de los mares. Cuando los hayáis visto y hayáis hecho sacrificios Yong y Chan entonces no moriréis<sup>3</sup>.

Veamos ahora algunas definiciones de Alquimia.

Hermes: "La Alquimia es la ciencia inmutable que trabaja sobre los cuerpos con la ayuda de la teoría y la experiencia y que por una conjunción natural los transforma en especies superiores y más preciosas"<sup>4</sup>.

Roger Bacon: "La Alquimia especulativa concierne a las propiedades naturales de los cuerpos, y la Alquimia operativa enseña al hombre cómo hacer metales nobles, colores y otras múltiples cosas de la mejor calidad y en mayor cantidad tanto a través del arte como a través de la naturaleza. Esta ciencia es mucho más importante que todas las que le han precedido, pues permite adquirir ventajas mucho más importantes. No sólo proporciona dinero y una cantidad de otras

cosas útiles para el Estado sino que también enseña a prolongar la vida humana tanto como lo permiten las leyes naturales"<sup>5</sup>.

Es interesante destacar la definición de Bacon no tanto porque se vean allí algunos de los principios filosóficos sino más bien porque se siente un alejamiento o la imposición de un límite racional a los principios tradicionales. La frase "prolongar la vida humana, tanto como lo permitan las leyes naturales", evidentemente está bastante lejos de la historia de Wei Po Yan o de la creencia expresada en el poema en relación con la inmortalidad.

Es también especialmente importante en cuanto plantea rápidamente algunos aspectos de la praxis de la Alquimia.

Finalmente, podemos recordar un fragmento de la concepción de los alquimistas de finales de la edad media y el renacimiento, cuyo principal representante fue Paracelso.

En esta concepción los cuatro elementos aristotélicos fueron reemplazados por tres, la tríada prima de Paracelso: azufre, mercurio y sal. El azufre se consideraba un principio masculino, cálido y activo y representaba la combustibilidad. El mercurio un principio femenino, frío y pasivo y representaba la fusibilidad y la volatilidad. La sal era un principio correspondiente a lo sólido y permanente y simbolizaba el hermafroditismo.

Todos los cuerpos, incluido el cuerpo humano, estarían hechos a partir de estos principios y podrían reconstruirse con ellos.

Paracelso propuso además que la Alquimia no debía tener como única finalidad la transmutación de los metales, sino el descubrimiento de medicamentos para curar las enfermedades.

## PRAXIS

La Alquimia no fue naturalmente sólo una filosofía, también fue una disciplina que se practicó en los laboratorios y que se proponía no sólo la transmutación de los metales sino del hombre mismo. Disponían ya los alquimistas del siglo XV de una serie de técnicas y aparatos de laboratorio que, algo modificados, han persistido hasta nuestros días.

Conocían la destilación, la sublimación, la fusión de metales y producción de aleaciones, la copelación así como la obtención y purificación de no pocas sustancias químicas. Entre los aparatos más utilizados estaban los hornos, lámparas, baños de maría, crisoles, morteros y manos, filtros, alambiques, retortas y un sinnúmero de otros aparatos.



Pero su práctica iba más allá; eran artesanos hábiles que construían sus propios hornos, conocían las técnicas metalúrgicas, sabían sobre las propiedades curativas de las plantas, trabajaban sus propios recipientes de cerámica y de vidrio, y los más destacados, sobre todo aquellos que tenían la posibilidad de estar en contacto con monasterios y universidades interpretaban los libros antiguos aportando nuevas versiones sobre los procesos y los principios filosóficos.

No obstante esta riqueza de actividades prácticas, es claro que la principal preocupación fue la preparación del oro y la piedra filosofal.

Roger Bacon dice: "Quien conozca las fórmulas y los procedimientos para producir a voluntad el color amarillo, lo muy pesado, la maleabilidad y la ductibilidad, así como los medios para producir estas cualidades en diferentes grados, podrá tomar las medidas necesarias para reunirlos en un cuerpo o en otro, de donde resultará su transmutación en oro"; y la búsqueda fue incesante. Y respecto a la piedra filosofal: "Una pequeñísima cantidad de ella es capaz de transformar cantidades inmensamente grandes de un metal común en oro, de curar todas las enfermedades y asegurar la eterna juventud".

En realidad el sentido de la praxis alquímica se orientaba a la purificación total del alma que se lograría en el mismo instante en que se produjera la piedra filosofal.

La Alquimia así, fue también una forma de magia en la que a través de un ritual preciso se buscaba dominar las sustancias, los principios, las fuerzas naturales para transmutar los metales y por "simpatía", la transmutación del hombre.

La praxis, complemento dialéctico de la filosofía, es portadora de los conceptos más antiguos de la alquimia esotérica que son la expresión más clara de la homologación del hombre al macrocosmos.

La alquimia esotérica queda claramente definida en el trabajo sobre el dragón y el tigre de Su Tung Po (1110 d.C.): "Los metales puros trascendentales, son identificados con las diversas partes del cuerpo y los procesos alquímicos, en lugar de realizarse en el laboratorio, se desarrollan en el cuerpo y la conciencia del experimentador". "El dragón es el mercurio, es semen y sangre. Viene del riñón y se conserva en el hígado... El tigre es el plomo; es hálito y fuerza corporal. Sale del espíritu y es conservado por los pulmones (...). Cuando el espíritu se mueve, el aliento y la fuerza obran al mismo tiempo que él. Cuando los riñones se mueven el semen y la sangre fluyen al mismo tiempo que ellos"<sup>6</sup>.

En otras versiones el cuerpo ejecuta el papel del elemento plomo y el corazón el del elemento mercurio; la meditación provee el líquido necesario (para la operación alquímica) y las chispas de la inteligencia el fuego indispensable<sup>6</sup>.

Aunque el número de citas se podría ampliar, el objetivo es solamente acercarnos a una caracterización global de la filosofía y la praxis de la Alquimia, como una manera de establecer unas bases para la reflexión que actualmente realizamos sobre el nacimiento de la Química y su relación con la Alquimia. Aunque esta reflexión es motivo de otro trabajo, podemos apuntar aquí que la Química como Ciencia, hija del racionalismo y contemporánea de una Física mecanicista y matemática no tiene conceptualmente nada que ver con la Alquimia. El sentido mágico, la práctica hermética, la vocación metafísica de las realizaciones prácticas; la creencia en principios y fuerzas ocultas manejables solamente a través de lo ritual, así como la creencia en la inmortalidad del cuerpo y el alma y la esperanza fundamental de conseguir la piedra filosofal, fueron abandonadas y enterradas en el pasado, mientras por otros caminos nacía la Nueva Química. Si bien es cierto que ésta se apropió de los artefactos de los alquimistas, también es cierto que renegó de sus mentefactos, de su universo, de su magia.

#### BIBLIOGRAFIA

1. READ J. "Por la Alquimia a la Química". Aguilar, Madrid (1960).
2. WU Y DAVIS. "The T'san T'ung Ch'i of Wei Po Yang" Isis, Vol. XVIII (1932) p. 214. Citado por Taylor F. Sherwood en "Los Alquimistas, fundadores de la Química Moderna", p. 14, Fondo de Cultura Económica (1957).
3. SSE MA TS'IEN. Vol. III, p. 465. Citado por M. Eliade en "Herreros y Alquimistas". Alianza Editorial, Madrid, 1983.
4. HERMES TRIMEGISTOS. "Tabla Esmeralda". Citada por Read J. "Por la Alquimia a la Química". Aguilar, Madrid (1960).
5. BACON R. "Miroir d'Alchimie". Arche Milano (1974).
6. SU TUNG-PO. "Tratado sobre el dragón y el tigre". Citado por M. Eliade en "Herreros y Alquimistas", op. cit.



## DEL SUSTANCIALISMO AL ATOMISMO EN LA QUIMICA\*

---

JOSE LUIS VILLAVECES C.  
GERMAN CUBILLOS A.  
EUGENIO ANDRADE

### PRESENTACION

Desde que estudiamos las primeras lecciones de química, vemos cómo esta ciencia está estructurada en torno a conceptos, teorías y definiciones fundamentales, una de las cuales es la teoría atómica. El atomismo constituye una pieza imprescindible del marco conceptual de la química moderna, más aún es su aceptación a principios del siglo XIX, uno de los hitos que completan la ruptura de la química con las concepciones precientíficas. Sin embargo, el atomismo no es propiamente una idea que pudiéramos calificar de moderna, sino que empezó a constituir parte del acervo cultural de la humanidad, desde que los filósofos jónicos la plantearon con claridad en el siglo IV a.C. En consecuencia, vale la pena plantearnos los siguientes interrogantes: ¿Qué condiciones específicas hicieron que el atomismo se impusiera oficialmente como paradigma esencial de la química moderna?, ¿qué condiciones sociales e históricas favorecieron su aceptación?, ¿qué crisis sacó a las antiguas concepciones químicas que no lo incluían en sus postulados fundamentales?, ¿cuál fue el mérito de Dalton y cuál su originalidad si la hubo?

### El Sustancialismo

Antes de la aparición de la química moderna el sustancialismo dominaba el saber químico, integrando los conceptos que explicaban los fenómenos hasta entonces conocidos. El sustancialismo en la química hecha raíces en la tradición griega donde los elementos tierra,

---

\* Artículo publicado en "Salamandra Andante" No. 2. Octubre de 1983. Reimpreso por el ICFES en la serie Memorias de Eventos Científicos Colombianos, No. 15, p. 225.

agua, fuego y aire designan los principios responsables de "lo seco", "lo húmedo", "lo caliente" y "lo frío" respectivamente. Estas concepciones se oponían desde entonces al atomismo que también irrumpe en los tiempos clásicos sin llegar a imponerse como la filosofía dominante en las cosmologías de la antigüedad. Además de la escuela de Demócrito y Leucipo, existió la de Epicuro. Para este último su teoría atómica no era determinista sino que dejaba espacio al papel jugado por el azar, a fin de explicar las múltiples colisiones de las partículas que se movían en el vacío. Su teoría atomista era al mismo tiempo una explicación al problema de la constitución de la materia y del movimiento. De esta manera, el Azar se contraponía al Designio, es decir, al planteamiento desarrollado por Aristóteles que presentaba las causas finales como elemento explicatorio del movimiento y cambio físico. De acuerdo con esta última concepción, todo cambio o movimiento obedecía a una intencionalidad trazada de antemano. El aristotelismo desarrollado e integrado a la cosmología escolástica se convirtió en el marco conceptual de referencia más importante que dominaba el saber durante la Edad Media y el Renacimiento, mientras que el atomismo fue anatematizado por su estrecha alianza con las doctrinas materialistas que se levantaban contra los dioses oficiales del Estado.

### La Filosofía Aristotélica

Era un tipo de Saber que jerarquizaba los fenómenos donde los celestes obedecían a principios distintos a los del mundo sublunar. En ese contexto, la tierra se veía como el centro natural de un universo manejado por los designios trazados por Dios. Dentro de esa mentalidad la sumisión absoluta de los siervos a sus señores, no era sino otra manifestación más de esas jerarquías naturales que estructuran el universo. A todo este esquema corresponde una visión de la materia como una sustancia que puede revestirse de distintos accidentes o cualidades sensibles que constituyen su potencia para transformarse en otra, conservando esa esencial sustancia interior. A cada objetivo o cualidad material corresponde una sustancia que es su soporte o principio fundamental constitutivo. Existen pues las sustancias o principios aromáticos, agrios, dulces, blandos, rígidos, rojizos, luminosos, sonoros, cálidos, fríos, pesados, etc. Es este sustancialismo un tipo de animismo introyectado en el mundo mineral y físico que se levanta como trans fondo explicatorio de las operaciones efectuadas en las retortas y destiladores de los alquimistas. Donde hoy vemos reacciones químicas ellos veían transmutación de los principios constitutivos fundamentales o una competencia entre el Mercurio y el Azufre por imponerse. Para ellos el Mercurio y el Azufre no representaban elementos en el sentido moderno del término, sino principios de lo metálico e ígneo respectivamente. El esquema de las jerarquías está presidido por el Oro, el principio de lo incorruptible y objetivo final al cual debían tender las manipulaciones que se ejercían sobre

las demás sustancias. Del sustancialismo de la Alquimia se pasó gradualmente por medio de un proceso acumulativo de conocimientos sin relevantes rupturas epistemológicas a la Química de los Principios. Esta última gozó de una estructuración de bastante coherencia interna, que no daba lugar a que el Atomismo entrara a explicar fenómenos que por lo demás, el sustancialismo ya había explicado satisfactoriamente. En ese entonces no se había visto la necesidad de plantear explicaciones alternativas.

### Crisis del Sustancialismo

A continuación veamos algunos de los aspectos de la cosmología premeccanicista y sustancialista, que van entrando en crisis durante el siglo XVII y que comienzan a abrir la brecha que habrá de conducir a la ruptura epistemológica que suscita el resurgimiento del Atomismo. La Revolución Copernicana ha conllevado una transformación total de la antigua cosmología. La tierra ha pasado a ser un planeta más que describe una órbita alrededor del astro-rey central. El ordenamiento natural de las jerarquías se ha visto convulsionado creando un ambiente propicio para el cultivo de las ideologías que promoverán las posteriores transformaciones democráticas de la sociedad. En el terreno del desarrollo del conocimiento en sí mismo, las explicaciones de tipo teológico dejan de satisfacer a las mentes inquietas y es justamente Galileo Galilei quien materializa este sentimiento al plantear la necesidad urgente de buscar explicaciones diferentes que den cuenta a cabalidad de los fenómenos naturales. Para él son las explicaciones de tipo Mecanicista y Matemático, las que satisfacen plenamente esta necesidad. De esta manera entrevió una explicación mecánica del calor al hablar del movimiento de pequeñas partículas, como responsables del mismo. Así mismo, la alquimia comienza a entrar en descrédito al cuestionarse la existencia de sustancias más perfectas que otras y desde entonces se empezó a plantear la posibilidad de considerar a las sustancias como jerárquicamente iguales e inmutables. La Nueva Filosofía de Descartes se ubica dentro de esta misma tendencia, presentándonos el modelo de un mundo mecánico, detrás de cuyas apariencias subyace el movimiento de partículas. Sin embargo, para él las partículas son divisibles hasta el infinito, y se hallan ubicadas en un espacio lleno en su totalidad por materia muy sutil. Avanza en su intento de dar explicaciones de tipo matemático que nos permiten descubrir la racionalidad del mundo que a su vez se halla respaldada por la racionalidad divina. Su geometrización del espacio implica necesariamente la de la materia que, en consecuencia, debe ser divisible hasta el infinito, al ser la extensión su cualidad fundamental. De esta manera, el mecanicismo Cartesiano erigido sobre pilares opuestos a los del atomismo griego, se yergue como barrera de contención contra esta filosofía, fundada en supuestos materialistas inaceptables para las mentalidades más conservadoras y religiosas de la época.

Es Gassendi quien en el siglo XVII en abierta oposición a Descartes propone la ontología del antiguo atomismo griego como la que mejor se adapta al mecanicismo renacentista. Al oponer los átomos y el vacío a los conceptos de sustancias y accidente, lleva a la ruina el sistema clásico, pues la existencia del Vacío o sea de algo que no es sustancia ni atributo es impensable en el esquema escolástico. Para Gassendi los Átomos son las sustancias reales y el Vacío es simplemente el lugar o espacio en que se encuentran permitiéndoles el movimiento. En este sistema la materia no puede estar geometrizada a la manera Cartesiana pues ella está dotada de Movilidad, Impenetrabilidad y Discontinuidad. Las propiedades de los átomos según Gassendi se reducen a peso, número y medida; mas sin embargo, a partir de estos postulados desarrolla una física cualitativa postulando átomos adaptados a la producción de cualidades sensibles, de luz, calor, sonido, frío, etc. Gassendi demostró no haber estado en capacidad de integrar las explicaciones matemáticas a las mecánicas en un solo y único modelo. Su gran mérito es haber mostrado que el atomismo griego se adaptaba mejor al tipo de explicaciones requeridas en una época sacudida por la Revolución Copernicana, que la filosofía Aristotélico-Escolástica que había monopolizado toda la cultura europea durante los cuatro siglos precedentes.

En seguida veamos algunas de las ideas mecanicistas que van haciendo su lenta entrada en el mundo de la química, sin llegar todavía en el siglo XVII a derrumbar las concepciones sustancialistas. Las propiedades antagónicas de los ácidos y de los álcalis se conocían, según Lémery; los ácidos se consideraban como constituidos por partículas puntiagudas que punzan la lengua y penetran los poros de los metales desgarrándolos y disolviéndolos. Consecuentemente el calor desprendido en las reacciones de neutralización se explica como un efecto mecánico del combate que se producía para lograr la penetración mutua del ácido y del álcali para formar la sal.

El concepto de Afinidad Química que hasta el siglo XVII se explicaba conforme a la teoría del "Amor y el Odio" de Barchusen pasa a ser entendida como un producto de atracciones mecánicas. Dice Boyle al respecto: "Los cuerpos están formados por partículas en forma de racimos, no muy estrechamente unidos, pero pueden encontrarse en contacto con corpúsculos de otra materia que estén dispuestos a unirse más estrechamente de lo que estaban antes". Boyle estableció que las cantidades de un cuerpo capaces de llegar a cambiarse con otro depende del grado de simpatía o atracción; su filosofía corpuscular va íntimamente ligada a su concepción mecánica de las reacciones químicas. De esta manera ante las "fuerzas ocultas" de los alquimistas se ven crecer explicaciones alternativas como la teoría corpuscular y la afinidad química entre cuerpos diferentes.

### El Mecanicismo y el Individualismo Preparan el Terreno al Atomismo Moderno

Los intentos de dar explicaciones mecánicas y/o matemáticas del mundo, encuentran su síntesis en Newton. El demostró que las leyes físicas son las mismas tanto para el mundo celeste como para el terrestre. En su modelo los cuerpos celestes interactuaban a distancia por un milagro perpetuo de atracción a través del vacío. Una vez enunciada la Ley de la Gravitación Universal, el peso deja de ser una cualidad o sustancia material para pasar a ser una Fuerza en el sentido físico todavía en boga. A partir de Newton la Masa entra a ser un nuevo concepto que para sus sucesores llegaría a corresponder a la cantidad de materia y que gracias a la correspondencia entre la masa inercial y la gravitacional, podemos llegar a medirla a través de las medidas de peso que nos da la balanza, instrumento aún desconocido por los manipuladores de metales y destiladores de espíritus de las más diversas clases. A la par que se va estructurando el mecanicismo como filosofía de la naturaleza fundada sobre una concepción científica de los fenómenos, van sentándose las bases que habrán de configurar la primera revolución industrial en Inglaterra. Los movimientos político-ideológicos que propugnan por este tipo de revolución se conocen como el liberalismo filosófico y la ilustración. Es el ocaso del feudalismo bajo el influjo de las burguesías comerciales y financieras gestoras de la burguesía industrial que arrastran a la masa popular y campesina que anhela transformar sus condiciones de vida. La aparición del mercantilismo conlleva al redescubrimiento del individuo en el terreno de lo político. El individualismo fue recuperado de la filosofía estoica y cínica e incluso del cristianismo primitivo para entrar en plena aceptación al menos formalmente en el siglo XVIII. Este individualismo está en la base de las revoluciones democrático-burguesas que reconocen el poder como emanado de la suma de las voluntades individuales y no como impuesto por una orden sobrenatural desde arriba. No es pues descabellado pensar que el atomismo moderno se nutrió de estas tendencias, a derivar las características de una buena sociedad, de las características innatas del individuo. Podía verse en el atomismo uno de aquellos casos que nos muestran que los hombres tienden a ver y a entender la naturaleza, de manera similar a como ven y entienden el entorno social en que viven. En todo caso, no es coincidencia que la Declaración de Independencia Americana haga derivar el derecho a la revolución de los derechos otorgados por Dios y por tanto inalienables, al átomo social, el hombre; así como Newton hacía dimanar el mecanismo de la naturaleza de las propiedades otorgadas por Dios y por consiguiente innatas, al átomo físico individual.

### El Flogisto, Nuevo Desarrollo de la Química Sustancialista

El pensamiento químico del siglo XVIII estuvo notablemente influenciado por uno de los desarrollos más notables que tuviera la

química de los principios, la teoría del Flogisto. Para Stahl el flogisto era el nombre asignado al principio inflamable que habría de servirle de pilar en sus explicaciones a los problemas de la energía, el calor de la combustión y la constitución de los cuerpos. Las sustancias al quemarse perdían el flogisto, transformándose en un polvo amorfo el cual a su vez en presencia de carbón, una sustancia rica en flogisto, regenera el metal inicial. Numerosas evidencias empíricas confluían afirmando este paradigma que gozó de amplia aceptación por los hombres de ciencia de la época. Su coherencia interna hizo que a partir de él se dedujeran explicaciones sobre las propiedades tales como color, olor, fusibilidad, volatilidad, combustibilidad, que en últimas obedecerán a proporciones diferentes de flogisto. Entre las propiedades asignadas al flogisto estaba la de ser imponderable o carente de peso e inasible por ninguno de los métodos conocidos. A pesar de que estas propiedades resultaron a la larga ser contradictorias, el modelo permaneció sin refutación hasta llegar a competir con las teorías por Lavoisier. La gran simpatía que tuvo esta teoría hasta la primera mitad del siglo XVIII dificultó el avance de las concepciones mecanicistas en el terreno de la química. De todas maneras, la crisis en que se debatía esta rama del saber era cada vez más evidente, muchas teorías no correspondían con las experiencias, no había un cuerpo teórico a partir del cual se pudieran explicar las propiedades de los elementos puros; ya no se creía con tanta vehemencia en las transmutaciones, pero tampoco se conseguía explicar satisfactoriamente numerosas reacciones químicas, los científicos discrepaban sobre los componentes fundamentales de los cuerpos, etc. Los hombres de ciencia veían la necesidad de sobrepasar las descripciones cualitativas para buscar formulaciones cuantitativas de mayor poder explicativo. Falta en últimas una gran labor de síntesis que permitiera darle otra estructuración a lo que ya se conocía y creara nuevos modelos conceptuales que se ajustaran mejor a los problemas no resueltos. Dice la Enciclopedia en redacción de D'Alembert sobre el fuego, lo siguiente: "Los dogmas de Becher y Stahl sobre el principio del fuego, que parecían demostrables para algunos químicos, por el contrario, son para otros y para ciertos físicos incomprensibles, absolutamente paradójicos, y por consiguiente falsos". A pesar de la crisis evidente, los químicos no veían razones fuertes para abandonar completamente la idea de los principios; incluso el hecho comprobado experimentalmente de que la pérdida del principio de combustibilidad estuviese acompañado de un aumento de peso, no era para ellos argumento suficiente en contra, puesto que el principio no tenía ninguna consistencia material.

### El Aporte de Lavoisier

La química del siglo de las luces arrastradas por los vientos desatados por la Revolución Copernicana, el Mecanicismo y la Ilustración, aún no se había liberado de los lastres que le impedían integrarse

plenamente a ellas. La química pronto habría de encontrar su Galileo, Copérnico o Newton. Para ello tenía que dar un salto que implicaba una ruptura epistemológica de gran envergadura, el paso de la "química de los principios" a la "química de los elementos". La química se vio en la situación de que sólo podía progresar si integraba los métodos matemáticos de la filosofía newtoniana. En el esquema de la química sustancialista, el peso se consideraba como una característica secundaria de la materia que podía cambiar en el proceso de una reacción química, por el contrario, el concepto moderno de peso como instrumento para equilibrar reacciones químicas, fue derivado de la teoría newtoniana. Es así como Lavoisier experimentaba con el objetivo de determinar el peso del "calórico" y de determinar las propiedades del aire desflogisticado de Priestley. No ve la necesidad de hacer uso del concepto de flogisto y como contrapartida formula la teoría de la combustión y la respiración. Caracterizó el "calórico" como un elemento imponderable muy particular, no sometido a las fuerzas de tracción, repulsión y presión atmosférica; en otras palabras, no abraza la concepción mecanicista del calor. No obstante, si bien no elabora claramente una teoría atómica, se encuentra en el punto de ruptura con la química tradicional y acepta a nivel filosófico la estructura discontinua de la materia. Para él, la materia no puede ser divisible hasta el infinito, ya que cree que necesariamente se llegaría a partículas indivisibles. Lavoisier consideraba estas partículas elementales como poseedoras de una forma constante que nos revelaría la clave de sus propiedades, y por lo tanto uno de los problemas fundamentales para el químico sería el de poder determinar esa forma, en este sentido propuso la idea de tomar la cristalización como un indicio de la forma de las moléculas, gracias a sus dimensiones regulares. A su vez, el concepto de Afinidad química se concibe como susceptible de ser explicado no sólo mecánicamente, sino matemáticamente; al respecto dice Lavoisier: "Es posible que algún día la precisión de los datos llegue a tal punto que el geómetra pueda calcular en su gabinete de trabajo los fenómenos de una composición cualquiera, del mismo modo que calcula el movimiento de los cuerpos celestes".

En ese ambiente de discusión se comienza a hablar de "velocidad de ataque" de los metales por los ácidos y de "fuerzas de afinidad" a las cuales se les atribuyen valores numéricos obtenidos de los experimentos diseñados con estos propósitos. Con esta nueva perspectiva, la Afinidad química se ve como una consecuencia de la Ley de Gravitación Universal; mas sin embargo este reduccionismo de la química a la física no progresaba fácilmente. ¿Cómo aplicar la Ley de Gravitación Universal a un microcosmos donde las partículas se tocan entre sí? ¿Seguiría la "Afinidad" la ley del cuadrado de la distancia? ¿Cómo explicar el poder selectivo de las fuerzas de interacción química? A pesar de que Lavoisier favorece este proceso de creación de puentes entre la física y la química guarda en el fondo fidelidad a la química de los principios concediéndole una personalidad mani-

fiesta al calórico como elemento. Su síntesis quedó incompleta pero demostró que era ineludible tratar de explicar los fenómenos experimentales de un modo riguroso, haciendo abstracción de hechos prefijados, es decir, propugnando por la adopción del método inductivo como única fuente de conocimiento científico.

### Caen los Prejuicios contra el Atomismo

Las nuevas concepciones van inundando las diferentes esferas de la actividad intelectual y derrumbando el prejuicio materialista que alimentaba el oscurantismo en los sectores influenciados por la religión cristiana en sus dos versiones: Católica y Protestantes. La Iglesia, después de condenar a Giordano y a Galileo, no puede rechazar de plano el atomismo sino que trata de utilizarlo para reafirmar la creencia en el espíritu o sustancia inmaterial. Ese espíritu actuaría dando movimiento a los corpúsculos. Por contrapartida, el atomismo también da lugar a la aparición de un materialismo dinámico cristiano. Roger Boscovich y Joseph Priestley conciben los átomos como rodeados por un campo de fuerza que no necesitan en consecuencia de una sustancia inmaterial que los moviera. Ellos plantearon que este tipo de materialismo estaba más cerca del cristianismo primitivo, que la creencia en la Trinidad y en la Inmortalidad del alma, que en su opinión eran alteraciones a la doctrina impuestas por la filosofía Platónica. A través de estos debates y discusiones se van rompiendo los prejuicios que impedían el pleno desarrollo del atomismo y ya para la primera mitad del siglo XIX las teorías atómicas se discutían libremente sin que se suscitara el espectro materialista.

### Dalton y la Aceptación Oficial del Atomismo

En los primeros albores del siglo XIX nos encontramos con la figura de Dalton, quien realiza un proceso de síntesis adicionando el ingrediente que faltaba para lograr la reducción de la química a los modelos cuantitativos y mecanicistas. Su aporte específico consistió en no haber formulado la existencia de los átomos, hecho que como vimos hacía ya parte de la filosofía de la época, sino en haber dado una formulación cuantitativa y medible del atomismo, que sirvió de base teórica para la química de los elementos. Para Dalton los átomos no son solamente el soporte de las cualidades diferentes que puede tener la materia, sino la base material que explica leyes cuantitativas establecidas como la de los pesos equivalentes y las proporciones definidas. Con la teoría atómica ya no hay más principios químicos que expliquen las propiedades de las sustancias sino elementos a los que corresponden átomos de un mismo tipo, de igual naturaleza y lo que es más interesante igual peso. Habiendo tantas clases de átomos como elementos químicos. Una vez admitido previamente el Principio de Conservación de la Materia, la balanza permite

someter a prueba las hipótesis deducidas de la teoría atómica. Esta posibilidad de refutación inherente a la formulación del atomismo hecha por Dalton, hace que el atomismo entre a formar parte de la base empírica de la química científica. Esta teoría tiene un poder explicativo tan amplio que en torno a ella se estructuran las respuestas a los interrogantes sobre la composición de los cuerpos, sobre el por qué los componentes entran en proporciones fijas para dar lugar a un compuesto, sobre la naturaleza de las reacciones químicas, etc., iniciándose un tipo de experimentación orientada a medir los pesos atómicos. Esta teoría tenía un gran poder predictivo al anticipar la Ley de las Proporciones Múltiples antes de ser encontrada experimentalmente. Lavoisier y Dalton son las dos grandes figuras que se sitúan en el eje de esta ruptura epistemológica. La adopción de los métodos introducidos por el primero y el desarrollo de sus concepciones mecanicistas, le permiten al segundo, un científico marginado, llevar hasta las últimas consecuencias la ruptura epistemológica inaugurada por el mártir de la Revolución Francesa. Uno de los méritos de Dalton fue precisamente el de que en vez de dedicarse a elaborar nuevos modelos más sofisticados dentro de la química sustancialista se decide a romper radicalmente con ella para introducir "el nuevo modo de pensar" en la química. Dalton podía romper más fácilmente con las concepciones en boga, pues dado el hecho de vivir en la provincia de Manchester, se aisló relativamente de los mayores centros de actividad científica de la época. Libre así de presiones y compromisos podía desarrollarse más auténticamente lejos de las críticas provenientes de la metrópoli. Fiel a la ética de los Quaqueros era partidario de las tesis individualistas en lo social, reivindicaba el libre albedrío en la moral, en su trabajo estaba presto a volcarse el humanismo renacentista, prejuiciado respecto a los centros de poder público apoyó la independencia norteamericana y no quiso aceptar su vinculación a la Royal Institution. Obstinado y pluralista en su actividad, se dedicó a la enseñanza, la meteorología, describió la ceguera a los colores y enunció la ley de las presiones parciales de los gases. Para Dalton el atomismo era algo que se compaginaba bien con sus ideas metafísicas sobre la simplicidad de la naturaleza que debería estar constituida por unidades indivisibles y esféricas. Si examinamos concienzudamente el atomismo de Dalton estas unidades no tendrían forzosamente que ser indivisibles, bastaría con que en el proceso de las transformaciones químicas ordinarias o conocidas hasta entonces, no se dividiera, por tanto el hecho de considerar el átomo indivisible como la partícula elemental última obedece más a una idea preconcebida sobre simplicidad de la organización material, que a una proposición que en su momento pudiera ser sometida a la refutación experimental. Por otro lado, al atribuírsele al átomo una forma esférica, Dalton evoca las formas perfectas heredadas de las creencias de la antigüedad no exentas de su misticismo y sabor teológico. Pues, ¿qué exigencia había para que Dalton postulara un modelo atómico esférico y no icosaédrico, piramidal o cúbico, como entrevió Lavoisier, además de la analogía con la forma de los planetas? Volviendo



a la idea sobre la simplicidad de la naturaleza, Dalton postula claramente la hipótesis de que los compuestos formados por dos elementos lo hacen en la proporción de un átomo con otro respectivamente. Este planteamiento lo condujo a pensar en la molécula de agua como compuesta de un átomo de oxígeno y un átomo de hidrógeno con los pesos atómicos 8 y 1 respectivamente. En su atomismo no había lugar para las moléculas diatómicas de un mismo elemento o los compuestos binarios en proporciones atómicas diferentes a 1:1.

En este caso vemos a Dalton defendiendo a ultranza su modelo en contra de las evidencias experimentales que parecían contradecirlo, ante las pruebas de Gay Lussac y Cannizaro, hace caso omiso de las objeciones y para no ver amenazado su paradigma que se había mostrado tan satisfactorio en un comienzo, decide no avanzar una explicación que dé cuenta de la discrepancia entre las proporciones en volumen de hidrógeno y oxígeno para formar el agua y la misma proporción tomada en pesos. Afortunadamente para Dalton, su paradigma salió adelante de la crisis al plantear Avogadro la existencia de moléculas diatómicas para los gases; sobrepasada esta dificultad del atomismo pasa a ser el eje estructural de la nueva química, articulándose en un cuerpo cada vez mayor de conocimientos acumulados y estructurados donde ya no caben oficialmente las sustancias y principios heredados de la alquimia.

#### BIBLIOGRAFIA

- G. DEBUS, Allen. "Man and Nature in the Renaissance". Cambridge University Press.
- KNIGHT, David. "The Nature of Science". André Deutsch.
- S. KUHN, Thomas. "La Revolución Copernicana". Ed. Ariel.
- RUSSEL, Bertrand. "La Sabiduría de Occidente". Aguilar.
- CID, Felipe. "Historia de la Ciencia".
- BACHELARD, Gaston. "La Formación del Espíritu Científico". Siglo XIX Editores.

## ¿ES DALTON EL PADRE DE LA TEORIA ATOMICA?\*

JOSE LUIS VILLAVECES C.  
GERMAN CUBILLOS A.  
EUGENIO ANDRADE

"La formulación de la teoría atómica introdujo sistematización y orden dentro del pensamiento químico".

"La hipótesis atómica de Dalton se presenta como una de las más grandes hipótesis científicas de todos los tiempos"<sup>1</sup>.

"Alrededor de 1803 un maestro de escuela inglés, John Dalton, desarrolló el modelo suficientemente para que pudiera explicar las observaciones experimentales hechas hasta ese día"<sup>2</sup>.

"A pesar de que el concepto de átomo fue sugerido desde el año 400 a.C., por el filósofo griego Demócrito, no fue sino hasta 1805 que el maestro de escuela y químico inglés, John Dalton, enunció por primera vez la teoría atómica, derivándola de datos experimentales. Su trabajo se reconoce hoy como uno de los más brillantes triunfos de la especulación en todos los campos de la ciencia"<sup>3</sup>.

"Es en verdad correcto el decir que la base lógica de la creencia en la existencia de los átomos fue prevista por Dalton, Gay Lussac y Avogadro en trabajos publicados a comienzos del siglo XIX"<sup>4</sup>.

Las anteriores son afirmaciones extraídas de textos populares de Química General. La mayor parte de los químicos tuvimos nuestro primer encuentro con la teoría atómica a través de frases como esas y guardamos la impresión de que el meteorólogo y maestro de escuela, cuáquero e inglés John Dalton fue el inventor de nuestra teoría atómica. Claro está que en los mismos libros o en los mismos cursos en que se enseña con esos textos se suele hacer una referencia a los griegos. En forma rápida se nos menciona que Demócrito ya había

\* Artículo publicado en "Salamandra Andante" No. 2. Octubre de 1983. Reimpreso por el ICFES en la Serie Memorias de Eventos Científicos Colombianos, No. 15, p. 234.

pensado en los átomos, posiblemente porque alguna estatua que había en alguna parte, se iba desgastando cuando la gente la tocaba. Es incluso posible que se nos mencione a Leucipo y luego, nada. La larga noche de los tiempos se extiende a través de veinticuatro siglos hasta que el inglés crea de nuevo esta gran hipótesis.

### La Teoría Atómica en la Antigüedad

Sin embargo, un pequeño examen de la historia nos muestra que Demócrito no sacó su idea del cielo ni de las estatuas consagradas a los habitantes del cielo; al menos, no exclusivamente. Igualmente, que a lo largo de los siglos que separan a Demócrito de Dalton, la idea atómica fue enseñada, elaborada, empleada, discutida y controvertida, pero jamás olvidada. Más aún, que en los años que precedieron al nacimiento de Dalton, esta fue una de las ideas dominantes en toda la investigación científica.

La idea del átomo tuvo varios precursores entre los filósofos jónicos, especialmente Anaxágoras, quien a su vez recogía una tradición científica y filosófica que se extendía desde hacía cientos de años. La idea del átomo o de que la materia está constituida de pequeñísimas partículas fundamentales, de cuyas combinaciones depende la multitud de los seres que observamos, se fue decantando lentamente a lo largo de muchos años en las costas del mar Egeo.

Demócrito y Leucipo tomaron la larga tradición y la resumieron, añadiéndole una idea nueva y atrevida: la del vacío, que consideraron necesario para poder explicar el movimiento de los átomos.

Cuando las ciudades griegas del continente tomaron la primacía sobre las islas y puertos del Asia Menor, la filosofía cambió de rumbo. Sócrates se opuso a los jónicos y Platón en especial desarrolló un sistema de filosofía política cuyo objetivo fundamental era lograr la organización de la ciudad-estado en un sistema rígido en el cual una pequeña minoría ilustrada gobernaba a una inmensa masa sumida en la ignorancia y la superstición. Veremos a continuación cómo esto implica en el plano cosmológico y epistemológico un rompimiento con el materialismo de los jónicos, lo cual hizo pasar la teoría atómica a un segundo plano.

Buena parte de la historia del pensamiento en este período la conocemos a través de Aristóteles, quien además de gran filósofo fue un ciudadano recopilador y prolífico escritor. El nos narra las ideas de los atomistas Demócrito y Leucipo, aunque lo hace en forma más o menos satírica o peyorativa. Su sucesor en la dirección del Liceo, Teofrasto, escribió más pausadamente sobre Leucipo: "Suponía la existencia de elementos innumerables y siempre en movimiento, es decir, los átomos. Y hacía a sus formas infinitas en número, aunque

sin una razón determinada por la cual pertenecen a una u otra clase, y porque veía que el cambio y la transformación de las cosas era incessante. Sostenía además que lo que es no es más real que lo que no es y que ambos del mismo modo son causa de las cosas que llegan a ser; pues decía que la sustancia de los átomos era compacta y llena, y los llamaba lo que es; ellos se movían en el vacío al que llamaba lo que no es, pero afirmaba que era tan real como lo que es"<sup>3</sup>.

### El Atomismo de Epicuro

El que en los escritos de Aristóteles y de Teofrasto se hayan conservado las ideas de los atomistas, nos asegura que ellas no desaparecieron con el auge de las ciudades-estado. Pero no sólo quedó su recuerdo en los textos de la época. Inmediatamente después de la muerte de Platón, nació el fundador de la escuela atomista que más tiempo ha durado en la historia de la humanidad: Epicuro.

Además de ser un feroz enemigo de Platón, de quien se burlaba llamándolo el "hombre de oro" por la teoría expuesta en La República, de que existen hombres de oro destinados por ello a gobernar a los de plata y hierro. Epicuro fue un ardiente cultivador del atomismo, que codificó en doce principios elementales:

1. La materia es increada.
2. La materia es indestructible.
3. El universo consiste en cuerpos sólidos y vacío.
4. Los cuerpos sólidos son simples o compuestos.
5. El número de átomos es infinito.
6. Los átomos se hallan siempre en movimiento.
7. La extensión del vacío es infinita.
8. La velocidad del movimiento atómico es uniforme.
9. El movimiento es lineal en el espacio, vibratorio en los compuestos.
10. Los átomos son capaces de desviarse lentamente en cualquier punto del tiempo y del espacio.
11. Tres cualidades caracterizan a los átomos: peso, forma y tamaño.
12. La cantidad de formas distintas no es infinita, sino simplemente innumerable<sup>4</sup>.

Si Epicuro es ignorado en los recuentos elementales sobre la historia del atomismo, es principalmente porque ya desde la antigüedad

clásica fue denigrado y acusado de haber copiado, y mal, a Demócrito<sup>6</sup>. Miembros de la escuela rival de los estoicos, como Posidonio, cuya enseñanza en Rodas fue famosa, reprochaban a Epicuro el haber tomado como suya la doctrina democritiana de los átomos, según lo cuenta Diógenes Laercio. Uno de los discípulos más brillantes de Posidonio fue el romano Cicerón, quien en su "De Natura Deorum" dice textualmente: "Quid est in physicis Epicuri non a Demócrito? nan et si quaedam conmutavit... tamen pleraque dicit eadem". No sólo asegura que todo lo que dijo Epicuro había sido ya dicho por Demócrito, sino que cuando aquel trata de cambiar algo, no hace sino empeorarlo.

La escuela de los estoicos floreció fuertemente en la antigüedad, hasta llegar a apoderarse del mismo imperio romano. Séneca, el más famoso de los filósofos romanos fue un estoico, como lo fue también el emperador filósofo Marco Aurelio. De la rivalidad entre estas dos escuelas se explica el que una de ellas denigrara a la otra y tratara de restarle importancia, y así, el que entre muchos de los historiadores posteriores, los seguidores de Epicuro hayan sido vistos con poco interés. Sin embargo, no lo explica sino parcialmente, porque a pesar del auge de los estoicos, los epicúreos continuaron trabajando y publicando durante muchos siglos. Tampoco sus obras pasaron desapercibidas; aquel que puede considerarse como el más grande poema científico de la antigüedad, el "De rerum natura" de Lucrecio, es una obra epicúrea, en la cual se expone en forma completa y detallada la teoría atómica.

Este poema fue famoso ya en sus días. Leído y comentado por su contemporáneo Cicerón, nunca cayó enteramente en el olvido, e influyó en la formación de muchas generaciones posteriores, hasta la edad moderna.

#### Atomos vs. Dioses

Si la rivalidad con los estoicos y el auge de estos últimos no son suficientes para explicar el paso del atomismo a un segundo plano, ¿qué otra cosa puede explicarlo? El mismo Lucrecio nos lo dice en el libro I, verso 62, en su poema:

"Mientras la humanidad arrastraba por la tierra una vida infame y abyecta, oprimida por el peso de una religión cuyo rostro mostrándose desde lo alto de las regiones del cielo, amenazaba a los mortales con su horrible aspecto, por primera vez un hombre griego se atrevió a actuar en su contra; no lo detuvieron ni lo que se decía de los dioses, ni los rayos, ni el trueno con su amenazador estruendo".

Y, al llegar al verso 79, concluye:

"Por lo tanto, la superstición fue aplastada bajo sus pies y con su triunfo, nosotros subimos hasta el nivel del cielo".

El hombre que, cual Prometeo, se enfrentó a los dioses para dar a los hombres el fuego de la razón en el poema de Lucrecio, no fue otro que Epicuro. Y su discípulo nos explica así que el gran esfuerzo consistió en enfrentarse a los dioses oficiales, a la religión de estado, a ese conjunto de mitos de los cuales Platón había dicho que eran mentiras necesarias, que el legislador debía hacer creer a los hombres e inculcar a los jóvenes desde el comienzo de la educación, con el objeto de dominarlos mediante ellas y hacer que acaten íntegramente la voluntad del gobernante, "de manera que la única cosa que él ha de buscar y encontrar para serle lo más útil posible", pues ¿acaso esta vez, más que en alguna otra circunstancia en que, en favor del bien, hubiera tenido la audacia de mentir a la juventud, no habría cometido la más útil de sus mentiras, la más capaz de hacer realizar a todos, no por la fuerza, sino libremente, todo lo que es justo?"<sup>6</sup>.

Religión Oficial y Ciencia se vieron así enfrentadas abierta y conscientemente desde los días de Grecia. Mucho antes de que en la Italia renacentista Giordano Bruno y Galilei debieran ocultar sus ideas o perecer con ellas, encontramos la disputa abierta entre el hombre que "se aventura más allá de las flamíferas murallas del mundo y viaja con su mente a través del infinito"<sup>7</sup> y la fe que "sería suficiente para que cuidasen con más empeño de la ciudad y de los ciudadanos que en ella viven"<sup>8</sup>.

Con el advenimiento del cristianismo se conservó la prevención contra Epicuro, y si bien San Pablo manifiesta su prevención contra todos los filósofos, Clemente de Alejandría, maestro de Orígenes, declara dos siglos más tarde que las críticas del apóstol deben concretarse a Epicuro, quien "ni siquiera fantaseó acerca de la Providencia y temas afines"<sup>9</sup>. El atomismo siguió así condenado, mientras otros filósofos griegos —notoriamente Platón—, empezaban a servir de inspiradores a los pensadores cristianos.

Es así como puede explicarse que la hipótesis atómica fuera relegada y debiera permanecer desprestigiada durante muchos siglos a pesar de que persistía enunciada y explicada en libros que fueron accesibles a todos los pensadores helenistas, bizantinos y árabes y, desde la Alta Edad Media, también a los cristianos occidentales.

#### Empirismo y Especulación en el Atomismo Clásico

En general, este debate entre los átomos y las religiones no es mencionado en los libros de Introducción a la Química que recordábamos al principio de este artículo. Algunos de ellos, cuando tratan de explicar el desprestigio de la teoría atómica clásica lo hacen diciendo que ésta era una doctrina filosófica especulativa que no se basaba en la evidencia experimental. Afirmación que resulta ser bastante falsa, pues los jónicos sí basaban sus hipótesis en la observa-

ción de la naturaleza y en la experimentación. Así, por ejemplo, Anaxágoras a mediados del siglo V a.C., había realizado experimentos con el objeto de demostrar que hay procesos físicos que tienen lugar a nivel microscópico, muy por debajo de las posibilidades de percepción directa. Para ello tomó dos vasos que contenían un líquido blanco y uno negro, y vertió gota a gota uno de ellos sobre el otro, viendo que el cambio sólo se volvía perceptible cuando se habían mezclado varias gotas. De experimentos como este sacó la conclusión de que los primeros principios, a los que llamaba "semillas", existían en número y variedad infinitos, como partículas indestructibles que encerraban en sí mismas las cualidades de todo lo demás, anunciando así las teorías atómicas de Demócrito y de Leucipo.

Siglos más tarde, en el libro I de su poema, Lucrecio se propone convencer a su auditor de que hay "cuerpos cuya existencia debe usted reconocer a pesar de que no pueden ser vistos", y los argumentos para convencerlo distan de ser especulativos, a pesar de que Lucrecio era un poeta y no un hombre de ciencia. Así comienza por considerar los distintos efectos de la fuerza del viento al que no podemos ver, y después de una cincuentena de versos concluye: "Hay así prueba sobre prueba de que el viento tiene cuerpos invisibles que en su acción y comportamiento rivalizan con los grandes ríos, cuyos cuerpos son fáciles de ver". Luego sigue la lista de observaciones que confirman esta idea: Los olores de las cosas, que podemos sentir, a pesar de que no vemos sus partículas alcanzan nuestras narices, el hecho de que la ropa colgada cerca al mar agitado se vuelve húmeda y puesta al sol se seca sin que hayamos podido ver la humedad cuando llegó ni cuando volvió a ser expelida por el calor. "Se sigue que la humedad se subdivide en partes diminutas que el ojo no puede ver".

Los anillos que se desgastan, la gota de agua que taladra la piedra, el pavimento que se acaba, el movimiento del polvo en el aire, son otras tantas pruebas para Lucrecio de que "la naturaleza actúa por intermedio de cuerpos invisibles". Los argumentos pueden parecer rudimentarios para nuestro tiempo, pero en todo caso no son especulaciones alejadas de la experiencia, y de todas maneras, cabe recordar que el último de ellos, a través del modelo de Smoluchowski-Einstein del movimiento Browniano, constituyó una de las pruebas que en pleno siglo XX convenció a los empiriocriticistas de la existencia del átomo.

### La Idea del Atomo en la Edad Moderna

El enfrentamiento entre Galileo y la iglesia Católica, fue el más sonoro ejemplo de que en la edad moderna las opiniones de los teólogos ya no eran definitivas. En París, Descartes, aunque partidario de las ideas de Galileo, advertido por la suerte de éste, fue más cuidadoso al publicar las suyas propias e introdujo la noción de que la cien-

cia puede ocuparse del conjunto de las cosas medibles, pero no de las del espíritu, que pertenecen al reino de la revelación; con lo cual abrió el camino al tipo de científico puro que no interviene en polémicas de tipo político o religioso<sup>10</sup>.

El efecto positivo de esta posición cartesiana, fue que desde entonces los científicos pudieron desarrollar su obra, libres de interferencias religiosas. Aprovechando esta libertad, Descartes desarrolló el esfuerzo galileano de matematizar la física, llegando hasta el punto de geometrizarla por completo, cuando declaró en 1644, dos años después de la muerte del científico de Pisa: "La naturaleza de los cuerpos no consiste sólo en peso ni en dureza, color o propiedades similares, sino sólo en extensión"<sup>11</sup>. El haber llegado a esta conclusión le sirvió entre otras cosas, para volver contra la hipótesis atómica confirmandonos que, no sólo era conocida, sino tan importante, que valía la pena molestarse en refutarla. Así, Descartes nos dice: "Sabemos también que no puede haber átomos o partes de la materia indivisibles por naturaleza propia como algunos filósofos han imaginado. Pues no importa cuán pequeñas sean supuestas estas partículas, necesariamente tienen extensión y así podemos siempre, en el pensamiento, dividir una cualquiera de ellas en dos o más partes; y así sabemos que son divisibles... Y, aunque supusiésemos que Dios había reducido alguna porción de materia a tan extrema pequeñez que no pudiera ser dividida aún más, no podría ser con propiedad llamada indivisible. Pues, aunque Dios hubiera hecho la partícula tan pequeña que dividirla estuviera más allá del poder de cualquier criatura, El no podría privarse a sí mismo de su poder de división, puesto que El no puede disminuir su propia omnipotencia"<sup>12</sup>. El argumento geométrico y el teológico se conjugan para mostrarnos que los átomos no podían existir en el siglo XVII, pero no por esto se dejaba de pensar en ellos.

El Abate Pierre Gassend, llamado Gassendi, fue el más famoso de los contemporáneos franceses de Descartes y su rival en la primacía científica en París. Partidario de Galileo y seguidor de Descartes en el esfuerzo de dar una explicación matemática del mundo físico, creyó que éste había llegado demasiado lejos al identificar extensión y substancia, puesto que si todo el espacio estaba ocupado, resultaba imposible explicar el movimiento de un cuerpo cualquiera, y así volvió su mirada en dirección a Epicuro.

En su "Physica" aborda el tema con una cita de Aneponymus, quien vivió entre 1080 y 1145 y se preocupó en plena Edad Media de la hipótesis atómica. Este autor, en la cita de Gassendi, opina que los epicúreos tenían razón en decir que el cosmos está hecho de átomos, pero se equivocaban en decir que no habían sido creados y que corrían al azar a través del gran vacío. Tomando pie en esta idea, el francés nos dice: "Claramente no hay nada que le impida a uno argüir la hipótesis de que la materia del cosmos y de los objetos que él contiene sean los átomos, siempre que todo lo falso que haya en este

punto de vista sea suprimido. Para decirlo más claramente, debemos alejar la noción de que los átomos son eternos e increados y que su número es infinito". A continuación se consagra a atacar a los dos primeros principios de Epicuro: que la materia sea increada e indestructible, pues eran ellos los que, al dejar a Dios por fuerza del esquema, habían producido más irritación entre los hombres de iglesia. Aceptando que los átomos fueron creados y ordenados por Dios, quien los dotó del movimiento necesario para la formación de la totalidad del cosmos. Gassendi concluye que la teoría no sólo puede ser aceptada sin conflicto religioso, sino que además "tiene la ventaja de explicar satisfactoriamente cómo tienen lugar la agregación (de los cuerpos) y la disolución en la forma original; cómo puede algo convertirse en un cuerpo sólido y grande o pequeño, tenue o denso, suave o duro, delicado o áspero y así sucesivamente"<sup>18</sup>.

Gassendi organiza los principios de Epicuro de acuerdo con su nuevo punto de vista. Corrige la idea de que el número de átomos sea infinito, aunque sea muy grande y llega incluso a calcularlo en  $10^{70}$  ("el número resultante necesitará sólo 76 ceros")<sup>13</sup>. Contra la objeción hecha por muchos contra el tercer principio, en el sentido de que el universo no puede estar hecho de cuerpos sólidos y vacío, pues este último no es nada y las cosas no pueden formarse de la nada, él aclara con mucho cuidado que los dos "pueden ser llamados principios o elementos del universo, pero no por ello son elementos constituyentes de toda la materia generativa. Sólo los átomos entran en ella; el vacío provee sólo el lugar y el medio mediante el cual una cosa es separada de otra"<sup>13</sup>. Este punto de vista sobre el vacío no es sólo la recuperación en la edad moderna del papel que Demócrito le hacía jugar al vacío. Es también oposición directa a la identificación cartesiana entre extensión y substancia, y es preparación del camino a la idea newtoniana del espacio absoluto.

Aunque Marx nos dice que el esfuerzo de Gassendi de acomodar a Epicuro con la iglesia fue trabajo perdido, "es lo mismo que si a la griega Lais —la de cálido y floreciente cuerpo— se le echara encima toca monjil cristiana"<sup>14</sup>, Newton, cincuenta años después de aquel esfuerzo, daba en su "Optica" una definición de átomo casi igual, palabra por palabra a la de Gassendi, y con base en ella, explicaba los fenómenos ópticos. Según nos cuenta Voltaire, Newton conocía y respetaba a Gassendi, de quien consideraba que tenía razón en todas sus ideas acerca del espacio y la materia.

Según nos dice Bernal, "la hipótesis corpuscular resultaba obviamente apta para la tendencia mecánico-matemática de la época. Siguiendo la dinámica de Galileo y Descartes, era más fácil trabajar con los movimientos de esas partículas que con un espacio homogéneo. Gracias a la piedad de Gassendi, los átomos quedaron depurados de sus implicaciones ateas y subversivas"<sup>15</sup>.

Del lado de la química, Robert Boyle fue otro de los discípulos de Gassendi y se constituyó, en las palabras de Sambursky<sup>16</sup>, en "uno de los campeones de la teoría corpuscular de la materia". Su famosa relación entre la presión y el volumen del gas fue publicada en 1662. Diez años más tarde explicaba sus experimentos suponiendo que "el aire no es sino un montón de partículas pequeñas y (en su mayoría) flexibles... (que)... se mueven de tal manera que cada corpúsculo trata de vencer a todos los otros impidiéndoles entrar a la pequeña esfera que requiere para moverse alrededor de su propio centro..."<sup>17</sup> así, la elasticidad del aire se explicaba por el movimiento de los corpúsculos que lo formaban y que pueden o no a su vez comportarse como minúsculos resortes. Boyle concedió también una atención particular a las reacciones que podían ser vistas como transmutaciones, ya que mostraban más claramente que cualquier otra, el proceso de rearrreglo corpuscular que debe subentender todo cambio químico<sup>18</sup>.

Kuhn<sup>19</sup> nos dice que alrededor de 1630 y particularmente después de la aparición de las obras de Descartes, la mayoría de los científicos físicos asumieron que el universo estaba formado por corpúsculos microscópicos y que todo fenómeno natural podía ser explicado en términos de forma corpuscular, tamaño, movimiento e interacción. A lo largo del siglo XVII, la hipótesis atómica se usó no sólo para explicar los fenómenos ópticos, químicos y neumáticos, sino también otros traídos de la mecánica y de la teoría del calor. Citando al mismo Kuhn, encontramos que durante la primera mitad del siglo XVIII "había casi tantos puntos de vista sobre la naturaleza de la electricidad como experimentadores eléctricos, del tipo de Hauksbee, Gray, Desaguliers, Dufay, Nollett, Watson, Franklin y otros. Todos sus numerosos conceptos sobre la electricidad tenían algo en común, se derivaban parcialmente de una u otra versión de la filosofía mecánico-corpuscular que guiaba toda la investigación científica de aquella época"<sup>19</sup>. (El subrayado es nuestro).

### Conclusión - Interrogación

La teoría atómica se formó entre los siglos V y VI antes de nuestra era. Se desarrolló en la época helenística. Se estudió y discutió en la Roma clásica. Fue condenada por los atenienses, los estoicos y los padres de la iglesia. Se la conoció a lo largo de la Edad Media, durante la cual ocasionalmente se trató de reivindicarla. Fue revivida a partir de los escritos de los antiguos en los mismos momentos en que nacía la ciencia moderna, y muy rápidamente se impuso. Los científicos más importantes durante los siglos XVII y XVIII la usaron para explicar la química, la neumática, la óptica, la mecánica, el calor y la electricidad.

¿Qué fue entonces lo que inventó Dalton en 1803?

## BIBLIOGRAFIA

1. BABOR, J.; LEHRMAN, A. "General College Chemistry", Crowell (1951).
2. SIENKO, M. J.; PLANE, R. A. "Chemistry", McGraw Hill (1961).
3. SIELER, H. H.; YANDERWERF, C.; DAVIDSON, A. "College Chemistry. A systematic approach", McMillan (1982).
4. MAHAN, B. H. "University Chemistry", Addison Wesley (1965).
5. MARX, K. "Diferencias entre la Filosofía de la Naturaleza según Demócrito y según Epicuro". Traducción castellana a cargo de J. D. García B., U. Central de Venezuela (1973).
6. Véase PLATON, "Las Leyes", II, 663 y "La República", II, 382.
7. LUCRECIO. "De rerum natura", I, 70.
8. PLATON. "La República", III, 415.
9. Ver K. MARX, op. cit., pág. 27.
10. BERNAL, J. D. "Historia Social de la Ciencia", traducción de J. R. Capella, Ediciones Península, Barcelona, p. 338, vol. I.
11. DESCARTES, R. "Principio de Filosofía".
12. DESCARTES, R. Ibid. Ver también SAMBURSKY, Sh. "Physical thought from the Presocratics to the Quantum Physicists. An anthology". Hutchinson. London (1974).
13. GASSENDI, P. "Opera Omnia" (1658), vol. I. Physica, tomado de Sambursky, op. cit.
14. MARX, K. op. cit. Prólogo.
15. BERNAL, J. D. op. cit. pág. 355.
16. SAMBURSKY, Sh. op. cit.
17. BOYLE, R. "New experiments Physico-Mechanical touching the spring of air".
18. KUHN, T. S. "Robert Boyle and Structural Chemistry in the seventeenth century". ISIS XLIII (1952).
19. KUHN, T. S. "The Structure of Scientific Revolutions", 2nd. Ed. Chicago, University Press (1979), p. 41.
20. FARRINGTON, B. "Ciencia y Política en el Mundo Antiguo". Traducción de D. Plácido S., Ed. Ayuso (1979).

## BERZELIUS

## Químico Teórico y Práctico\*

JOSE LUIS VILLAVECES C.

Jons Jakob Berzelius nació en Vafersunda, Suecia, el 20 de agosto de 1779. Fue un estudiante bastante mediocre, y al terminar el colegio llevaba un certificado en el cual se decía que el muchacho sólo justificaba dudosas esperanzas. El mismo rendimiento mediocre demostró mientras realizaba sus estudios de medicina en la Universidad de Upsal, donde no gozó de ninguna simpatía por parte de los profesores. En particular, su profesor de Química conceptuó que debería rajarse, pero accedió a dejarlo pasar si sacaba una nota mejor en física. Afortunadamente así fue.

Cabe aquí reflexionar sobre la escasa perspicacia que demuestran a veces los profesores al evaluar a sus estudiantes, así como sobre la poca flexibilidad demostrada por aquellos profesores que, celosos de salvaguardar el "nivel académico" tronchan esperanzas profesionales que tal vez hubieran conducido a brillantes carreras. ¡En todo caso, el "nivel académico" de la Química en Suecia no sufrió por esta decisión!

En 1802 se graduó Berzelius y se fue a Estocolmo a ejercer como médico y a trabajar en sus ratos libres en la que llegaría a ser una de las más brillantes y fecundas carreras en toda la historia de la Química, a un punto tal, que puede afirmarse sin lugar a dudas que Berzelius fue el más influyente de todos los químicos de la primera mitad del siglo XIX.

Los trabajos de Berzelius se extendieron sobre múltiples ramas de la Química teórica y experimental. Consagró largos años de trabajo al análisis químico, desarrollando numerosas técnicas nuevas y colocando sobre una base estrictamente cuantitativa las leyes estequiométricas. Corrigió así muchos de los antiguos resultados de Dalton, a quien consideraba un experimentador infame. En esta forma, contribuyó a la consolidación y extensión de la teoría atómica. Introdujo

\* Artículo publicado en "Noticias Químicas", No. 38, p. 34 (1982).



además los símbolos químicos basados en los nombres en latín de las sustancias, y creó una nomenclatura química que enseñó a los químicos a pensar y discutir en términos de átomos. Su sistema de símbolos es básicamente el actual, y constituyó un importante avance frente al antiguo fárrago de símbolos basados en esferas, en nombres vernáculos, en símbolos de la alquimia o de la iatroquímica.

Berzelius pasó mucho tiempo consagrado a la determinación precisa de los pesos atómicos y equivalentes de los elementos y llegó a constituir una tabla que es casi idéntica a las aceptadas en la actualidad.

Hizo muchas innovaciones en el laboratorio, tales como la introducción de las mangueras de caucho y los frascos lavadores, o la invención del papel de filtro. Preconizó el uso del soplete de boca para las investigaciones en Mineralogía. Descubrió varios elementos nuevos, tales como el Cerio, el Torio y el Selenio y fue el primero en aislar el Silicio, el Titanio y el Zirconio.

Su contribución más controvertida —y la que más influencia tuvo— es sin duda la teoría electroquímica o dualística del enlace químico, que dominó la ciencia durante muchos años y cuyos ecos aún resuenan en las entrelíneas de numerosos escritos actuales.

Escritor prolífico, enunció su teoría dualista en un librito publicado en 1819, que se llamó "Ensayo sobre la Teoría de las Proporciones Químicas y sobre la Influencia Química de la Electricidad". Su obra magna es sin duda el "Larbok i Kemien" o "Tratado de Química", publicado por primera vez en 1808, y cuyas cinco ediciones fueron muchas veces traducidas. Un ejemplar de la edición francesa de 1845 —en cuatro volúmenes— se encuentra en la Biblioteca del Departamento de Química de la Universidad Nacional. Además de los muchos artículos que escribió, editó durante 38 años el famoso "Jahresbericht" o Anuario de la Investigación en Ciencias Físicas, hasta el día de su muerte en 1848.

Al ver tan prolífica labor de teórico, experimentador y escritor químico, no puede uno dejar de preguntarse cuáles fueron los medios de que dispuso Berzelius para realizar tantísimas investigaciones.

Afortunadamente, tenemos un recuerdo de primera mano, de Friedrich Wöhler. Viajó a Estocolmo, recomendado por Gmelin, para trabajar con Berzelius, quien solía invitar a jóvenes y promisorios químicos a pasar un año con él en su laboratorio. En un artículo titulado "Recuerdos de Juventud de un Químico"<sup>4</sup>, Wöhler nos cuenta lo siguiente:

"Con el corazón batiendo me detuve frente a la puerta de Berzelius y toqué a ella. Un hombre correctamente vestido, de agradable apariencia,

abrió. Era Berzelius mismo. Me dio la bienvenida en forma extremadamente amigable y dijo que me esperaba desde hacía algún tiempo. Hablamos sobre mi viaje, todo el tiempo en Alemán, lengua que dominaba tan bien como el Francés y el Inglés. Cuando me llevó a su laboratorio me parecía soñar y dudaba si era yo realmente quien se encontraba en estos cuartos ya clásicos y en la meta de mis deseos.

"A la mañana siguiente comencé a trabajar. Obtuve para mi uso especial un crisol de platino, una balanza con sus pesas, un frasco lavador y un soplete, en cuyo uso insistía mucho Berzelius. Por mi propia cuenta, yo debía conseguir el alcohol para los mecheros y el aceite para el mechero de fuelle. Los reactivos y utensilios eran usados en común, pero algunos, como el ferrocianuro de potasio por ejemplo, no se conseguían en Estocolmo y éste tuve que pedirlo a Lübec.

"Yo era en esa época el único visitante del laboratorio. Anteriormente habían estado Mitscherlich y H. y G. Rose y después de mí vino Magnus.

"El laboratorio consistía en dos piezas ordinarias arregladas en la forma más simple. No había muflas ni vitrinas, ni sistemas de agua o gas. En uno de los cuartos había dos mesas largas de trabajo en madera de pino. En una de ellas tenía Berzelius su sitio y en la otra yo. En las paredes había anaqueles con reactivos; en el centro la cubeta de mercurio y la mesa para el soplete de fuelle, este último bajo un ducto conectado a la chimenea de la estufa. Al lado estaba el vertedero, que consistía en un recipiente de piedra con un tapón y un garrafón debajo. Allí lavaba diariamente los platos Anna, la severa cocinera. En el otro cuarto había balanzas y algunas prensas con instrumentos y utensilios. Junto había además otro tallerito con un torno.

"En la cercana cocina, donde Anna preparaba las comidas, había una pequeña muflita raramente usada, así como el baño de arena, siempre caliente...".

Leyendo estas reminiscencias wöhlerianas piensa uno en todo lo que Berzelius hizo trabajando sobre su mesa de pino, no lejos de la severa Anna y el pensamiento se dirige rápidamente a los químicos de nuestros días que, rodeados de conductos de agua y de gas, de electricidad y vacío, de potenciómetros y balanzas, de espectrógrafos UV, VIS, IR, NMR, EPR y cuanta sigla se ingenian los mercaderes de la ciencia, se quejan continuamente de no poder trabajar por verse obligados a hacerlo con las uñas. Al unir estos dos pensamientos, no puede uno menos que alegrarse de que haya habido en la historia químicos que supieron usar sus uñas. ¡Ojalá los haya siempre!

#### BIBLIOGRAFIA

1. LEICESTER, H. M.; KLINKSTEIN, H. S. "A Source Book in Chemistry", McGraw Hill Book Co. (1952).

2. MOORE, F. J. "A History of Chemistry". Edición revisada por W. T. Hall, McGraw Hill Book Co. (1939).
3. PARTINGTON, J. R. "A History of Chemistry", vol. 4, The McMillan Press (1972).
4. Berichte der Deutschen Chemischen Gesselschaft 8, 838 (1875). Citado en la referencia 2.

## EL ENLACE QUIMICO EN EL SIGLO XIX\*

JOSE LUIS VILLAVECES C.

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<sup>1</sup>.

"Muy pocas de las teorías propuestas en este período han sido completamente desacertadas; 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 remplazadas 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 filó-

\* Artículo publicado en la "Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales", Vol. XV, No. 59, p. 113 (1984).

sofos 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 indivisibles 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 hombres 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<sup>12</sup>, 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 es-

table 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"<sup>3</sup>.

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 "galvanismo", 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 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 descubrió un electroscopio de láminas colgantes, similar al que había inventado

Abraham Bennett unos cinco años antes de 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"<sup>1</sup>.

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 voltaica". 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 solo 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 aparecían 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 nitroso, 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 arduas 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<sup>6</sup>.

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<sup>6</sup> 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<sup>7</sup>.

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 la base 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 a 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 ELECTRONEGATIVOS. 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"<sup>8</sup>.

"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 aquellos 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”<sup>9</sup>. “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”<sup>10</sup>.

“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 constituyentes, puede ser dividida en dos partes, de las cuales una es eléctricamente positiva y la otra negativa”<sup>11</sup>.

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 potasio. 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  $K_2O \cdot SO_3$ ; 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 Dalton, 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 absoluta-



mente 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 QUÍMICA ORGÁNICA 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 necesario 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"<sup>12</sup>.

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 urea.

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 TEORÍA 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 sus contemporáneos<sup>18</sup>.

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 contiene 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, esta secuencia de 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 benzoilo. Hemos expresado la composición de este radical por la fórmula  $14C+10H+2O$ ".

El hidruro de benzoilo (aceite de almendras amargas) se compone de  $(14C+10H+2O)+2H$ . Por la acción del cloro, dos átomos de hi-

drógeno 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  $(14C+10H+20)+2Cl$ .

El artículo continúa explicando cómo los hidrógenos pueden ser cambiados por oxígeno para dar ácido benzoico. 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<sup>14</sup>.

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<sup>15</sup> ( $C_2H_5$ ).

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 CA-CODILO (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 QUÍMICA ORGÁNICA 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 reinante 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 examinadas 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 monárquicos 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 sólo 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 mineral 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 sim-

ple, 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 ese 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 benzoilo, 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 dio 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<sup>17</sup>.

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"<sup>18</sup>. 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<sup>19</sup>.

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, sustituyendo 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,

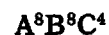
tanto que dos de ellas tan diferentes como el cloro y el hidrógeno pueden sustituirse mutuamente, sin que ello produzca diferencias importantes entre los compuestos así obtenidos, siempre y cuando se conserve el tipo de radical. En 1838, Berzelius fijó su posición, negando todas las explicaciones que 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, sustituir 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, aun cuando se introduzcan, en lugar de hidrógeno, cantidades iguales de cloro, de bromo, etc."<sup>19</sup>, y finalmente, el 3 de febrero de 1840, presentó una memoria que desarrolló y llevó hasta sus últimas consecuencias todas estas ideas<sup>21</sup>. En ella decía: "En un compuesto orgánico, todos los elementos pueden ser desplazados sucesivamente y remplazados por otros", frase que lo sometió a las burlas de muchos de sus colegas, entre otros de Wöhler, quien publicó un satírico artículo en su contra<sup>22</sup>.

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

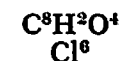
A partir de esta definición explicaba el comportamiento del ácido acético diciendo que había un tipo



al cual pertenecía el ácido acético:



y, por sustitución de hidrógenos, el tricloroacético:



(hoy en día escribiríamos 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 conformara.

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 electropositivos 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 d 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 "cópulas". El ácido acético ya no sería un óxido del  $C_4H_6$ , sino una cópula del ácido oxálico  $C_2O_3$  con el grupo  $C_2H_6$ . La sustitución podía ahora tener lugar, pues ella no iba a alterar la parte ácida de la molécula.

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| Acido acético .....         | $C_2O_3, C_2H_6$  |
| Acido tricloroacético ..... | $C_2O_3, C_2Cl_6$ |

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 estratagema 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 Wöhler, 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, Wöhler 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<sup>23</sup>.

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 diferentes 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: la 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"<sup>24</sup>.

La ocupación principal de la Química para Berzelius era la respuesta a nuestras preguntas: ¿Cómo se forma el enlace químico? ¿Qué fuerzas mantienen unidos a los átomos en sus múltiples combinaciones? El había encontrado en la fuerza eléctrica una poderosa respuesta a estas preguntas. ¿Cómo iba a abandonarla a favor de otra teoría que ni siquiera se preocupaba de responder a estas preguntas fundamentales? ¿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 coterráneos de Kant. Eran contemporáneos y coterráneos 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 vio 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"<sup>25</sup>. 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: Renunciar al paradigma que lo ha llevado a la crisis. Los paradigmas sólo se rechazan cuando se presenta un candidato alterno para remplazarlos<sup>26</sup>. Berzelius nunca rechazó sus teorías, precisamente porque nunca vio ese candidato alterno. 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 parcializada 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<sup>27</sup> 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<sup>28</sup>.

## BIBLIOGRAFIA

1. PARTINGTON, J. R. "A History of Chemistry", volumen IV, The McMillan Press Ltd. London, 1972.
2. BERZELIUS, J. J. Ann. Phil, 1813, II, 357. Citado en Partington, ref. 1, p. 160.
3. PARTINGTON. Ref. 1, p. 5.
4. Ibid, p. 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", Paris, 1819; Dresden, 1820. (Reproducido parcialmente en la ref. 8).
8. LEICESTER - KLICKSTEIN. "A source Book in Chemistry", McGraw 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", McGraw Hill Book Co. 3a. ed., 1939, p. 175.
13. WOHLER, F.; LIEBIG, J. "Untersuchungen über das Radikal der Benzoësäure", Ann. 1832, III, 248-82. Citado en Partington, ref. 1, p. 327.



14. BACHELARD, G. "Le Pluralisme Coherent de la Chimie Moderne", Vrin, París (1932), p. 35.
15. KANE, R. Dublin Journal of Medical and Chemical Science, 1833, II, 345. Citado en Partington, ref. 1, p. 347.
16. DUMAS, A.; LIEBIG, J. "L'état actuel de la Chimie Organique". Compt. Rend. 5, 567 (1937). 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, p. 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.

## BOHR Y LA QUIMICA\*

JOSE LUIS VILLAVECES C.

Niels Bohr presentó su modelo del átomo en los tres artículos aparecidos en el Philosophical Magazine entre julio y noviembre de 1913, conocidos hoy como "La Trilogía". Las principales ideas de la teoría habían sido trabajadas por Bohr un año antes en un borrador, conocido como el Memorándum, dirigido a Rutherford.

En 1918 volvió sobre el tema en su artículo sobre la teoría cuántica de los espectros de líneas publicado en las memorias de la Real Academia de Amsterdam. Y en 1921, cuando escribió su libro "Theory of Spectra and Atomic Constitution". London, 1922.

En 1919, en medio de estos diez años durante los cuales se desarrolló la actividad de Bohr como químico teórico, Irving Langmuir, quien ganaría el Premio Nóbel de Química en 1932, escribió:

"El problema de la estructura de los átomos ha sido atacado principalmente por los físicos quienes han tenido muy poco en cuenta las propiedades químicas que en último término deben ser explicadas por una teoría de la estructura atómica. La vasta cantidad de conocimiento almacenado sobre las propiedades y relaciones químicas, tal como se resume por ejemplo en la tabla periódica, debería servir como un mejor fundamento para una teoría de la estructura atómica, que los relativamente escasos datos que se han obtenido siguiendo líneas puramente físicas".

En este trabajo trataré de mostrar en qué consistía esta dicotomía entre el átomo de la química y el de la física, y por qué se la planteaba 6 años después del famoso artículo de 1918 en el cual Bohr explicó la estructura de los átomos pesados y de las moléculas, con base en su hipótesis.

Me referiré en este trabajo al estado de conocimientos sobre la estructura del átomo en aquel momento. El punto que quiero presen-

---

\* Compendio de dos conferencias dictadas en la Universidad del Valle en octubre de 1985 y en la Universidad Nacional de Colombia en noviembre de 1985, con ocasión del primer centenario del nacimiento de Niels Bohr.

tar es que, hacia 1910 y después de un siglo entero de preocuparse por la cuestión atómica, los químicos habían construido, siguiendo un camino empírico-inductivo, un modelo de átomo que en muchos aspectos era superior al modelo de Bohr.

Por ello me parece interesante contrastar el modelo presentado por Bohr entre 1913 y 1918 contra los que habían sido construidos a partir de las propiedades de las sustancias químicas para apreciar bien en qué consiste su aporte y por qué se impone tan rápidamente a pesar de que, en el sentir de Langmuir, parece incompleto en cuanto a su contenido empírico.

Creo que el principal aporte de Bohr consiste en el cambio de método: al hacer una presentación deductiva de su modelo, construyéndolo a partir de algunos postulados generales que se añaden a las viejas y bien probadas leyes de la mecánica y del electromagnetismo clásicos, parece tener una generalidad y una fuerza probatoria que los metafenómenos construidos directamente como reflejos del fenómeno, no pueden tener.

Además, la precisión numérica con la cual Bohr logra reconstruir el espectro del átomo de hidrógeno no tiene parangón en los cálculos de los químicos, que rara vez pasan de ser aproximaciones o promedios. Tal vez la confirmación de las predicciones de Mendeléef sobre las propiedades de los ekaelementos son la mejor contraparte a esta precisión desde el campo de la química.

Finalmente, el modelo planetario de Bohr tiene un aspecto que lo hace fácil de aceptar, que es su punto más débil y que, con el tiempo, debía constituirse en la base de la tragedia que ha asolado a la química teórica desde los días de la Gran Guerra; es extremadamente fácil de visualizar. El minúsculo sistema planetario es una imagen simple. Es un metafenómeno para imaginar el cual no se requiere mayor esfuerzo intelectual. Por eso pocos años más tarde llena las páginas de la prensa y de la literatura barata. Llena los libros de texto escolares y se instala en la imaginación de millares de científicos; y esto a pesar de que tan sólo tenía doce años de vida cuando el principio de incertidumbre decretó su muerte definitiva.

## EL ATOMO DE LOS QUIMICOS

Para comenzar es necesario hacer un breve recuento de algunos de los puntos más relevantes dentro de la "vasta cantidad de conocimiento" acumulado por los químicos principalmente a lo largo del siglo XIX, referente a la estructura del átomo. Haré énfasis sobre todo en la idea, que fue muy temprana dentro de la comunidad química, de que los átomos tienen una estructura interna y probablemente están formados por otros componentes, relacionados con car-

gas eléctricas y masas y acerca de la cual especularon los químicos casi desde el mismo momento en que se formulaba la teoría atómica de Dalton.

Entre 1815 y 1816, Prout formuló una hipótesis que moduló el trabajo de muchos químicos de la primera mitad del siglo XIX, repartidos entre sus defensores y sus detractores. En un artículo titulado "On the relation between the specific gravities of bodies in their gaseous state and the weights of their atoms", publicado en los *Annals of Philosophy* de 1815, demuestra Prout que las gravedades específicas de los distintos elementos en el estado gaseoso son probablemente múltiplos exactos de la del Hidrógeno y extiende esta relación a los átomos de varios compuestos que no se encuentran en estado gaseoso. Supone que esta relación debe ser más general y toma pie en ella para enunciar su hipótesis, publicada en la misma revista en 1816:

"...Si los puntos de vista que nos hemos atrevido a enunciar fueran correctos, debemos considerar que el prototipo de los antiguos se realiza en el hidrógeno opinión que, dicho sea de paso, no es nueva".

Probablemente este último comentario se refiera a la afirmación que Davy había hecho en 1812, cuando decía que:

"Los metales y los cuerpos inflamables pueden ser vistos como combinaciones diferentes de hidrógeno con algún otro principio aún no conocido... No es imposible pensar que la misma materia ponderable en diferentes estados eléctricos o en diferentes arreglos pueda constituir sustancias químicamente diferentes". (Davy, 1812).

Materia ponderable y electricidad o masa y carga, como diríamos hoy, fueron desde un principio vistos como constituyentes más fundamentales de los átomos. En 1831, y a pesar de la fuerte oposición que su hipótesis había encontrado entre algunos químicos, Prout insistía en que sus innumerables experimentos lo confirmaban en la idea de que todos los pesos atómicos de los cuerpos eran múltiplos del peso atómico del Hidrógeno y sugiere que incluso los átomos de este elemento pueden a su turno estar formados por cuerpos aún más pequeños en la escala. En 1834 él decía:

"Tales submoléculas pueden imaginarse parecidas en algún grado a las materias imponderables, al calor, etc., no sólo en su extrema tenuidad, sino en otros aspectos también". (Prout, 1834).

Vemos claramente que para Prout y para los muchos químicos a quienes él influenció, la idea de que los átomos están formados por una combinación de otras partículas más fundamentales, dotadas en una u otra forma de masa y de carga, y de cuya organización dependen las distintas propiedades químicas, no era de ninguna manera extraña.

A estas ideas de Davy y Prout podemos sumar otra corriente de pensamiento que también se desarrolló casi desde la aparición de la teoría de Dalton: si la característica fundamental, que diferencia a un átomo de otro es su peso, debería existir alguna relación cuantitativa entre propiedades químicas y peso atómico. En 1817 Dobereiner llamó la atención sobre el hecho de que el peso equivalente del Estroncio (42,5) es la media aritmética de los pesos de dos elementos muy afines: el Calcio (Peso equivalente=20) y el Bario (Peso equivalente=65). Pronto pudo extender esta idea a varias otras "tríadas" de elementos afines. En 1817 mostró que la abundancia de los elementos en la corteza terrestre guarda cierta relación con su peso atómico. No pudo seguir muy adelante con sus ideas sobre la relación entre las propiedades y los pesos atómicos, fundamentalmente porque en su tiempo había mucha confusión sobre los valores y los métodos de determinación de pesos atómicos.

Cuando en 1858 Stanislaw Cannizaro logró resolver el problema de los pesos atómicos en su inmortal "**Sunto di un corso di Filosofia Chimica**", el interés por buscar relaciones entre propiedades y pesos atómicos revivió. De Chancurois en 1863 publicó lo que podría llamarse la primera Tabla Periódica, resultante de ordenar los elementos sobre una espiral, siguiendo el orden de sus pesos atómicos. Su entusiasmo frente a la regularidad lograda fue tal que lo llevó a proclamar:

"Las propiedades de las substancias son las propiedades de los números".

John A. R. Newlands, quien llevaba algún tiempo estudiando las regularidades entre los pesos atómicos, escribió: (Newlands, 1865)

"(Si se arreglan los elementos) en el orden de sus equivalentes, llamando al Hidrógeno 1, al Litio 2, al Glucinio 3, al Boro 4 y así sucesivamente (colocando un número diferente a cada elemento que tenga un equivalente distinto, y designando mediante el mismo número a dos elementos si tienen el mismo equivalente...), el octavo elemento comenzando desde uno cualquiera, es una repetición de la misma clase del primero, como la octava nota en una escala musical".

#### LA TABLA DE NEWLANDS

|    |   |    |    |    |    |       |    |       |    |    |    |      |    |       |      |
|----|---|----|----|----|----|-------|----|-------|----|----|----|------|----|-------|------|
| H  | 1 | F  | 8  | Cl | 15 | Co&Ni | 22 | Br    | 29 | Pd | 36 | I    | 42 | Pt&Ir | 50   |
| Li | 2 | Na | 9  | K  | 16 | Cu    | 23 | Rb    | 30 | Ag | 37 | Cs   | 44 | Tl    | 53   |
| G  | 3 | Mg | 10 | Ca | 17 | Zn    | 25 | Sr    | 31 | Cd | 38 | Ba&V | 45 | Pb    | 54   |
| Bo | 4 | Al | 11 | Cr | 19 | Y     | 24 | Ce&La | 33 | U  | 40 | Ta   | 46 | Th    | 56   |
| C  | 5 | Si | 12 | Ti | 18 | In    | 26 | Zr    | 32 | Sn | 39 | W    | 47 | Hg    | 52   |
| N  | 6 | P  | 13 | Mn | 20 | As    | 27 | Di&Mo | 34 | Sb | 41 | Nb   | 48 | Bi    | 55   |
| O  | 7 | S  | 14 | Fe | 21 | Se    | 28 | Ro&Ru | 35 | Te | 43 | Au   | 49 | Os    | 51". |

En 1865 añadió:

"Si los elementos se arreglan según el orden de sus equivalencias, con unas pocas transposiciones, ... se observará que los elementos que pertenecen al mismo grupo usualmente aparecen en la misma línea horizontal.

Newlands sugirió que todos los esquemas anteriores, entre los cuales estaban las tríadas de Dobereiner, no eran sino "meros resultados aritméticos derivados de la existencia de la Ley de las Octavas".

En 1868, mientras escribía su libro de texto, Dimitri Ivanovich Mendeléeff se preocupó por encontrar algún sistema que le permitiera clasificar los elementos y consideraba que el más promisorio era el que los ordenaba por su peso atómico. Estaba convencido de que:

"Debe haber alguna relación entre la masa y los elementos químicos; y como la masa de una sustancia se expresa en último término... en el átomo, debe existir una dependencia funcional descubrible entre las propiedades individuales de los elementos y sus pesos atómicos. Pero no hay nada, desde los hongos hasta las dependencias científicas, que pueda ser descubierto sin mirar y ensayar. Así que comencé a ensayar y a escribir los elementos con sus pesos atómicos y sus propiedades típicas, elementos análogos y pesos atómicos similares en tarjetas y esto me convenció muy pronto de que las propiedades de los elementos se encuentran en dependencia periódica con sus pesos atómicos". (Mendeléeff, 1905).

Todos conocemos el resonante éxito que tuvo la Tabla Periódica de Mendeléeff especialmente cuando fue descubierto el Galio en 1875 resultando idéntico al elemento predicho por Mendeléeff y llamado por él "ekaaluminio". Los posteriores descubrimientos del Escandio (1879) y del Germanio (1886) confirmaron la validez de las predicciones del químico ruso.

Lothar Meyer publicó simultánea e independientemente una tabla periódica. El pensaba que "la existencia de 60 o más materias primas no es algo muy probable en sí mismo" y creía que la idea de una sola materia prima podía ser muy útil. Pensaba que el éter, que era considerado como un elemento por Mendeléeff podía ser uno de los componentes de los átomos.

La repugnancia frente a la idea de que la naturaleza estuviera formada por más de sesenta elementos distintos, la creencia en la necesidad de una materia simple o protilo que, mezclada en diferentes proporciones, produjera esta variedad, recibieron un fuerte apoyo de la tabla periódica. La periodicidad en las propiedades era para muchos evidencia de la existencia de una estructura interna en los átomos, que debía a su vez ser periódica, en forma tal que la periodicidad del mundo macroscópico no fuera otra cosa que el reflejo de esta periodicidad subatómica.

La propiedad más característicamente relacionada con esta periodicidad era el peso atómico, por lo cual era natural buscar de alguna manera una organización periódica en las masas de los diferentes átomos, utilizar al peso atómico como la variable independiente que regía la estructura atómica.

Sin embargo, pronto se vio que el peso atómico por sí solo no era la variable indicada, pues, si se quería organizar completamente la tabla periódica según las familias, era necesario hacer algunas inversiones. Si los elementos se organizaran siguiendo estrictamente sus pesos atómicos, el Yodo y el Telurio, el Argón y el Potasio, el Cobalto y el Níquel resultarían invertidos.

Fue Rydberg, en 1897, el primero en comprender que la clasificación periódica podía contener algo más fundamental que su ordenación con base en pesos atómicos. El propuso que debía existir una "variable independiente" distinta del peso atómico que determine las propiedades de los elementos. El número ordinal que indica la posición del elemento en la tabla parecía apropiado para esta tarea. Especialmente, después de que Rydberg construyera su regla de los "grupos cuadráticos". En efecto, suponiendo como todos sus predecesores, que había dos elementos entre el hidrógeno y el helio, encontraba que había dos períodos con 2 elementos, dos con 8, dos con 18, dos con 32. Ahora bien, los números 2, 8, 18, 32 son iguales a  $2 \cdot 1^2$ ,  $2 \cdot 2^2$ ,  $2 \cdot 3^2$  y  $2 \cdot 4^2$ . La belleza y la simplicidad de esta relación eran un indicio a favor de la suposición de que el orden en la tabla periódica revelaba la estructura íntima de la materia.

Aunque los hechos posteriores demostraron que no había elementos entre el H y el He, el resto de la relación permanece en pie, con lo cual resulta que podemos resumir los hechos esenciales de la clasificación periódica, tal como se los conocía a principios de este siglo, así:

- "a) Las propiedades de los elementos son función periódica de los números atómicos.
- "b) Cuando los elementos se ordenan según sus números atómicos, caen en un período de 2 elementos, dos períodos de 8, dos de 18, uno de 32 y otro fraccionario.
- "c) Los elementos que ocupan posiciones similares en la tabla tienen propiedades similares". (Lewis, 1923, pág. 27).

La afirmación hecha por De Chancurois "las propiedades de las sustancias son las propiedades de los números", asumía toda su importancia. Las propiedades de las sustancias eran las propiedades del número atómico. Faltaba dar una interpretación a este número.

## EL ELECTRON

El carácter corpuscular de la electricidad había sido ya reconocido por Faraday, sin embargo, ni él ni Maxwell desarrollaron esta idea, sobre la cual volvió Stoney en 1891 dándole el nombre de electrón al átomo de electricidad (Friedman y Sartori, 1965, p. 3).

Poco tiempo después se descubriría al electrón, reconociendo su carácter de partícula dotada de electricidad y existente en todos los átomos. Fue J. J. Thomson quien en 1897, estudiando los rayos catódicos en los tubos de descarga, reconoció que la carga eléctrica era transportada por pequeños corpúsculos de relación m/e muy pequeña. En su artículo, después de concluir que el portador de electricidad debe ser muy pequeño comparado con las moléculas ordinarias, dice:

"Los dos puntos fundamentales acerca del portador me parecen ser: 1) Que estos portadores son los mismos sea cual sea el gas a través del cual pasa la descarga; 2) Que el camino libre medio no depende de nada diferente a la densidad del medio atravesado por los rayos... La explicación que me parece dar cuenta de los hechos de la manera más simple y directa se basa en un punto de vista sobre la constitución de la materia que ha sido sostenido favorablemente por muchos químicos: este punto de vista es que los átomos de los diferentes elementos químicos son agregados diferentes de átomos de la misma clase. En la forma en que fue enunciada esta hipótesis por Prout, los átomos de los diferentes elementos eran átomos de hidrógeno. En esta forma precisa la hipótesis no se sostiene, pero si sustituimos al Hidrógeno por alguna sustancia primordial desconocida X, no hay nada que parezca inconsistente con esta hipótesis... Si en el muy intenso campo eléctrico en la vecindad del cátodo se disocian las moléculas del gas no para dar átomos químicos ordinarios, sino estos átomos primordiales... y si estos corpúsculos están cargados con electricidad, ...se comportarán exactamente como los rayos catódicos. Ellos mostraron un valor de e/m independiente de la naturaleza del gas y de supresión, puesto que los portadores serán los mismos, sea cual fuere el gas...

"Así, desde este punto de vista, tenemos en los rayos catódicos a la materia en un nuevo estado, uno en el cual la subdivisión de la materia ha sido llevado mucho más lejos que en el estado gaseoso ordinario: un estado en el cual toda la materia, esto es la materia derivada de las diferentes fuerzas, tales como Hidrógeno, Oxígeno, etc., es de una y la misma especie; siendo esta materia la sustancia de la cual son construidos todos los elementos químicos". (Thomson, 1897).

No se puede pedir más lucidez en la identificación del viejo protilo de Prout. Thomson reconoce en los rayos catódicos a los constituyentes fundamentales de los átomos y así inicia el estudio moderno de la estructura atómica.

Pronto se acumuló la evidencia a favor de esta idea. El efecto Zeeman fue considerado como argumento a favor de la existencia de los

electrones en el interior mismo de los átomos. Se encontró que los electrones eran idénticos a los rayos beta y a las partículas emitidas en el efecto fotoeléctrico. La carga específica de los rayos beta fue medida por Becquerel en 1899 y la de los fotoelectrones por Lenard en 1900. Rápidamente se hizo evidente que el electrón es ubicuo y que debe ciertamente jugar un papel esencial en cualquier modelo de la estructura del átomo.

La hipótesis de Prout había recibido un gran apoyo a partir de la construcción de la Tabla Periódica: Era muy probable que todos los átomos estuvieran formados de algún componente fundamental colocado en distintas proporciones en ellos. Este componente fundamental estaba relacionado con el peso del átomo pero también con alguna otra propiedad más fundamental, que se reflejaba en los ordinales de la Tabla. Que probablemente tenía que ver con la electricidad, era algo sabido desde los viejos días de la electroquímica, y ahora se había encontrado una **partícula** que se producía al desintegrar los átomos hasta un grado de subdivisión muy avanzado y que, fuere cual fuera la manera de lograr esa desintegración resultaba ser siempre la misma. Las condiciones estaban dadas para comenzar a trabajar en la construcción de modelos en los cuales el átomo estuviera formado por electrones y algún otro componente.

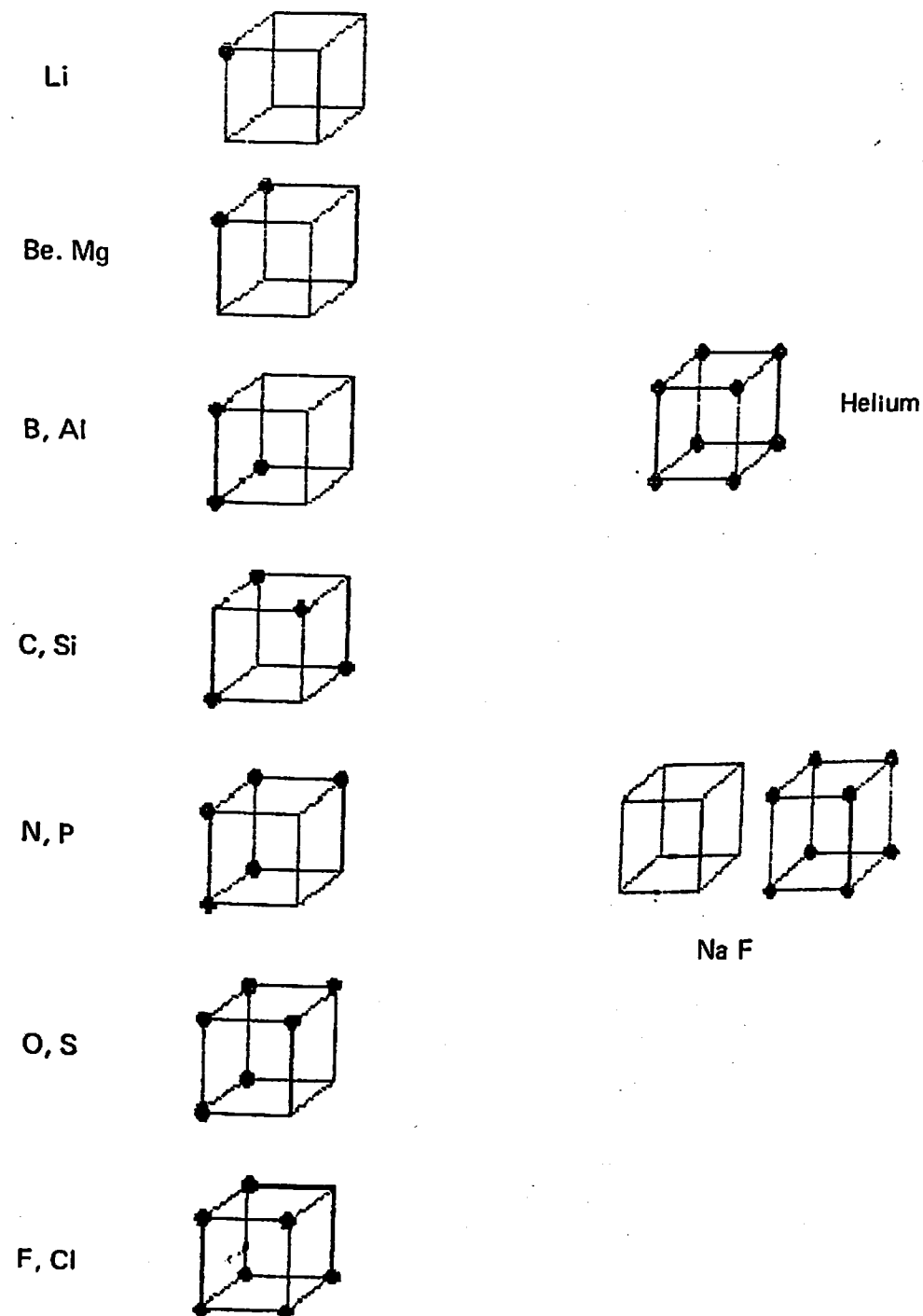
### PRIMEROS MODELOS DE LA ESTRUCTURA DEL ATOMO

El primer modelo de estructura del átomo del cual tenemos noticia no fue publicado sino varios años después. Gilbert Newton Lewis cuenta que en 1902, mientras preparaba una explicación acerca de algunas de las ideas envueltas en la Ley Periódica para una clase elemental de química y, habiéndose interesado en la nueva teoría del electrón, combinó estas ideas y construyó un modelo al cual "desde entonces he considerado como esencialmente representativo de la disposición de los electrones en el átomo". (Lewis, 1923, p. 29).

En la figura se ven las características fundamentales de su dibujo del 28 de marzo de 1902.

La teoría de Lewis consistía básicamente en lo siguiente:

- "1) Los electrones se organizan en cubos concéntricos dentro del átomo.
- "2) Un átomo neutro de un elemento dado contiene un electrón más que el elemento precedente.
- "3) El cubo de ocho electrones se alcanza en los átomos de los gases raros y este cubo se constituye, de alguna manera, en el núcleo alrededor del cual se construye el cubo mayor del siguiente período.
- "4) Los electrones de un cubo externo incompleto pueden ser cedidos a otro átomo o pueden recibirse de otro para completar el cubo, explicando así las 'valencias positivas y negativas'". (Lewis, 1923, p. 30).





El modelo no contenía, en ese momento, ninguna hipótesis acerca de la forma en que estaba presente la carga positiva necesaria para que el átomo fuera neutro. En cambio, contenía una teoría del enlace químico, que es básicamente la misma que encontramos hoy en día en todos nuestros textos elementales de química y que constituye una de las teorías más populares a finales del siglo XX entre quienes hablan de química. A pesar de su popularidad, no a todos los químicos les ha parecido tan convincente. Su propio autor opinaba que:

"A pesar de que esta teoría parecía ofrecer una explicación notoriamente simple y satisfactoria del proceso que ocurre cuando el sodio se une con el cloro para formar el cloruro de sodio, no parece explicar las combinaciones químicas de tipo menos polar, como las que se dan en los hidrocarburos.

"Sin embargo, yo no podía creer en dos clases distintas de unión química. Parecía más bien que la unión del sodio y el cloro y la unión del hidrógeno y el carbono debían representar dos tipos extremos de combinación". (Lewis, 1923, p. 30. El subrayado es de JLV).

En 1904 Abegg publicó una teoría de los compuestos moleculares, que concluía:

"La suma igual a 8 de nuestras valencias normales y contra-valencias significa entonces simplemente el número que para todos los átomos representa los puntos de ataque de los electrones; y el número del grupo o sea la valencia positiva indica cuántos de los 8 puntos de ataque deben contener electrones para que el elemento sea eléctricamente neutro". (Abegg, 1904).

La idea de ocho electrones responsables de las propiedades químicas del átomo seguía abriéndose paso.

El primer modelo atómico publicado parece haber sido el de Lord Kelvin (Kelvin, 1902). Este modelo consistía en una serie de anillos concéntricos de electrones en rotación dentro de una esfera homogénea de electricidad positiva dentro del átomo.

El modelo se conoce como el "átomo de Thomson", debido a que fue este último quien lo desarrolló y calculó el número de electrones necesarios en cada anillo para que el sistema fuera estable, en distintos casos (Thomson, 1904). Las ventajas de este modelo residen en que responde a un cálculo matemático completo de las velocidades y distribuciones de los electrones y, sobre todo, a que reproduce hasta un cierto punto, las propiedades de nuestros átomos químicos, explicando la variación periódica de las propiedades, así como el hecho de que algunos sean electropositivos y otros electronegativos. Resulta así ser el primer modelo en el cual se unen las deducciones teóricas de los físicos y los conocimientos experimentales de los químicos.

El átomo de Thomson se hizo bastante popular, pero no fue de ninguna manera el único modelo de átomo propuesto en los primeros cinco años de nuestro siglo. Por el contrario, el esfuerzo para explicar la estructura atómica con base en el conocimiento empírico de que se disponía parece haber sido grande, como nos lo atestigua la siguiente cita del libro publicado por Lodge en 1906:

- "1) El cuerpo principal del átomo puede estar formado por materia ordinaria (sea cual sea la entidad desconocida que se esconde tras esa frase familiar), asociada con suficiente cantidad de electricidad positiva (sea ello lo que sea), como para neutralizar la carga que pertenece al electrón o electrones que sin duda existen en conexión con cada átomo.
- "2) O el cuerpo del átomo puede estar formado por una multitud de electrones positivos y negativos, entremezclados, que se mantienen como un conglomerado gracias a sus mutuas atracciones, ya sea que se encuentren en un estado de intrincado movimiento orbital o en alguna configuración geométrica estática, que se mantienen permanentemente gracias a las conexiones apropiadas.
- "3) O el cuerpo del átomo puede estar formado por una unidad indivisible de electricidad positiva que presumiblemente constituye una masa esférica o 'jalea' en medio de la cual hay un número eléctricamente equivalente de electrones puntualmente embebidos.
- "4) Puede consistir en alguna clase de entremezcla de electricidad positiva y negativa, indivisible e inseparable en unidades, e incapaz de ser rota por fuerzas aplicadas, incorporada en una masa continua, dentro de la cual pueden moverse uno o más electrones aislados e individualizados que despliegan la actividad externa que confiere al átomo las propiedades que observamos.
- "5) Un quinto punto de vista sobre el átomo lo imagina como un 'sol' de electricidad positiva extremadamente concentrada en su centro, con una multitud de electrones rotando a su alrededor en órbitas astronómicas, como asteroides dentro de su rango de atracción. Pero este modelo exigiría una ley de fuerzas inversamente proporcional al cuadrado de la distancia y, por consiguiente, períodos de rotación dependientes de la distancia, cosa que no parece corresponder con nada que haya sido satisfactoriamente observado".

Friedman y Sartori en su estudio sobre los primeros días de la teoría atómica aseguran que mucha de la confusión se debía a que en aquel tiempo no había ninguna evidencia referente al número de electrones presente dentro de un átomo dado. En un principio se creyó que este número debía ser muy grande; si la materia estaba formada exclusivamente por electrones positivos y negativos, por ejemplo, entonces debería haber unos doscientos de ellos en un átomo de hidrógeno. Tal situación habría ayudado a resolver algunas de las dificultades relacionadas con la estabilidad radiactiva.



No es difícil imaginar objeciones a la hipótesis de que la materia está formada exclusivamente por electrones. ¿Por qué, por ejemplo, si los átomos contienen muchos miles de partículas, existe sólo un centenar de elementos? Y, ¿por qué no se ha encontrado nunca un ion positivo con una carga específica superior al del ion hidrógeno? (Friedman y Sartori, 1965).

Estos argumentos no parecían definitivos a todos. Lewis y Abegg, basados en la "vasta cantidad de conocimiento acumulado por los químicos", ya suponían un número de electrones similar al número atómico. Sin embargo, los físicos buscaban otro tipo de argumentos.

### EL ATOMO DE THOMSON

En 1904 presentó Thomson su tratamiento matemático del átomo formado por electrones y una carga positiva. Friedman y Sartori presentan un resumen de la teoría que, en líneas generales, es el siguiente:

Thomson postulaba que el componente cargado positivamente está distribuido uniformemente en una esfera que define al volumen atómico. Se suponía que el "fluido" positivo actuaba sobre las cargas negativas únicamente por intermedio de fuerzas eléctricas, aunque se necesitaba algún mecanismo especial para explicar la cohesión del fluido mismo. La naturaleza de este mecanismo no estaba especificada en la teoría. Se la puede considerar *grosso modo* análoga a la fuerza de cohesión de los líquidos. Con base en la teoría cinética se tomaba el radio de átomo como del orden de unos  $10^{-8}$  cm.

Los electrones en este modelo son cargas puntuales distribuidas a través de todo el fluido positivo que pueden estar en reposo o en movimiento, rotando alrededor del centro en órbitas circulares. Se encuentran sometidos a su repulsión mutua así como al campo central del fluido positivo, que varía con el radio.

Para números pequeños de electrones es fácil deducir las configuraciones de equilibrio:

Un electrón solitario yace en el centro del átomo.

Dos electrones asumen posiciones simétricas a lado y lado del centro, a una distancia igual al radio, si están en reposo. Si están en rotación, su separación debe ser mayor. En este caso, el radio de la órbita está dado por:

$$b = \frac{a}{2} \left( 1 - \frac{mw^2 a^3}{3e^2} \right)^{-1/3}$$

donde  $a$  es el radio del fluido positivo y  $w$  la frecuencia de rotación. Esta última puede tomar cualquier valor entre cero y  $(e/a) \cdot \text{sqr}(7/4ma)$ . Una rotación más rápida sacaría a los electrones del fluido. En este caso todavía podría haber posiciones de equilibrio, pero el radio de las órbitas ya no estaría dado por la fórmula anterior.

Tres electrones forman un triángulo equilátero que, igualmente, puede estar en reposo o puede rotar en su propio plano. El radio de equilibrio es:

$$b = \frac{a}{\sqrt{3}} \left( 1 - \frac{mw^2 a^3}{3e^2} \right)^{-1/3}$$

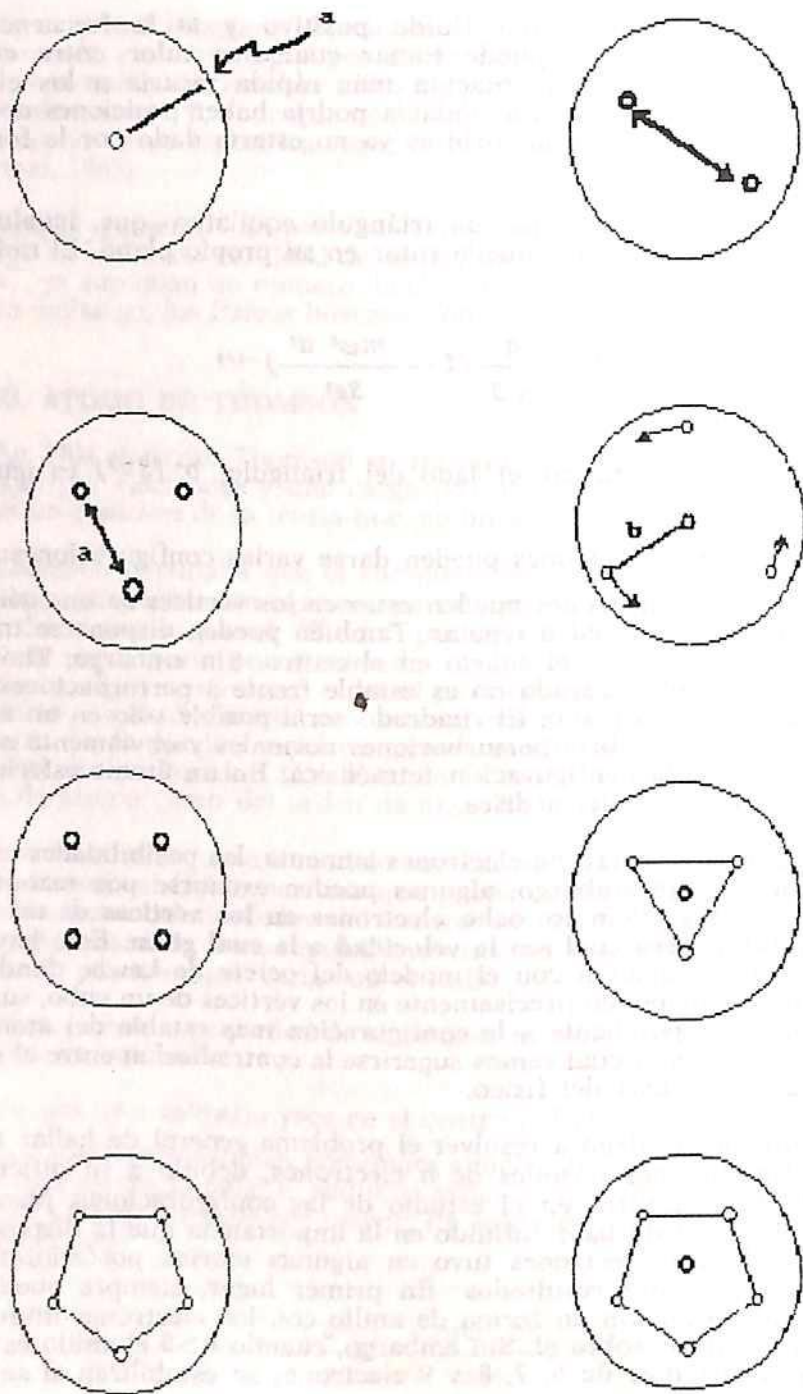
En el caso estático, el lado del triángulo,  $b \cdot (3^{1/2})$  es igual al radio de la esfera.

Para cuatro electrones pueden darse varias configuraciones:

Los cuatro electrones pueden estar en los vértices de un cuadrado o en los de un tetraedro regular. También pueden disponerse tres en triángulo equilátero y el cuarto en el centro. Sin embargo, Thomson demostró que el cuadrado no es estable frente a perturbaciones normales a su propio plano. El cuadrado sería posible sólo en un átomo plano, donde no habría perturbaciones normales y obviamente no podría adoptarse la configuración tetraédrica. En un átomo esférico, la configuración sería tetraédrica.

Cuando el número de electrones aumenta, las posibilidades crecen rápidamente. Sin embargo, algunas pueden excluirse por razones de estabilidad. Por ejemplo, **ocho electrones en los vértices de un cubo son inestables, sea cual sea la velocidad a la cual giren.** Esto hay que recordarlo en relación con el modelo del octete de Lewis, donde los electrones se disponen precisamente en los vértices de un cubo, supuestamente correspondiente a la configuración más estable del átomo, y es otro punto en el cual vemos sugerirse la contradicción entre el saber químico y las ideas del físico.

Thomson no llegó a resolver el problema general de hallar todas las configuraciones posibles de  $n$  electrones, debido a su dificultad. Por ello se concentró en el estudio de las configuraciones planas, y es posible que esto haya influido en la importancia que la disposición coplanar de los electrones tuvo en algunas teorías posteriores. Así obtuvo interesantes resultados: En primer lugar, siempre puede ensayarse una solución en forma de anillo con los electrones uniformemente repartidos sobre él. Sin embargo, cuando  $n > 5$  el anillo es inestable. Los sistemas de 6, 7, 8 y 9 electrones se estabilizan si se deja



uno en el centro. Si hay dos electrones, por lo menos dos de ellos deben ir al centro para que el sistema sea estable. Así, logró demostrar que un anillo de  $n$  electrones no puede ser estable a menos que contenga  $p$  electrones dentro de él.

En la tabla vemos el resultado de sus cálculos para un gran número de electrones.

Thomson vio inmediatamente la analogía existente entre sus arreglos de electrones y el sistema periódico de Mendeléeff. No sólo había una periodicidad, sino que podía enunciarse una explicación para el enlace químico que era básicamente igual a la que Lewis concibiera un par de años antes:

“Cuando átomos como los electronegativos en los cuales los corpúsculos son aún estables se mezclan con átomos como los electropositivos, en los cuales los corpúsculos no están retenidos tan firmemente, las fuerzas a las cuales están sujetos los corpúsculos por la acción de los átomos uno sobre otro, pueden resultar en que uno de los corpúsculos se desprenda del átomo electropositivo y se transfiera al electronegativo... los átomos cargados opuestamente se atraerán y se formará un compuesto químico”. (Citado por Lewis (1923), p. 31).

Una limitación inicial de este modelo era la incertidumbre sobre el número de electrones del átomo.

En 1906 Thomson publicó un artículo, que presentaba tres argumentos diferentes para indicar que el número de electrones en un átomo es muy pequeño, del orden del número de masa. De acuerdo con Lodge, este era un “**resultado extraordinario e inesperado**”. Dos de los argumentos se basaban en la dispersión de los Rayos X y la dispersión de la luz en los gases; el tercero hacía uso de datos preliminares sobre la absorción de los rayos catódicos y los rayos beta en la materia. Los datos no eran muy precisos y las teorías sobre las cuales se basaban los argumentos han sido fuertemente modificadas. No es sorprendente por lo tanto que algunas de las estimaciones del número de electrones hayan resultado con errores significativos. Sin embargo, el orden de magnitud era suficiente para excluir definitivamente al átomo formado únicamente por electrones, así como algunos otros modelos posibles. Todos los datos subsiguientes confirmaron la conclusión cualitativa de Thomson de que el número de electrones es pequeño aunque su valor exacto no fue determinado sino bastante más tarde. Todavía en 1911, H. A. Wilson concluía, a partir de argumentos teóricos basados en el modelo de Thomson que el átomo de hidrógeno contenía ocho electrones. (Wilson, 1911). No sería sino en 1913, cuando Moseley publicara sus resultados sobre los espectros de Rayos X, que se identificaría definitivamente al número de electrones del átomo con su posición en la Tabla Periódica.



## NUMERO DE ELECTRONES

| 1-5 | 6-16   | 17-31     | 32-48        | 49-69           | 70-93              | 94                   |
|-----|--------|-----------|--------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| (1) | (5,1)  | (11,5,1)  | (15,11,5,1)  | (17,15,11,5,1)  | (21,17,15,11,5,1)  | (24,21,17,15,11,5,1) |
| (2) | (6,1)  | (11,6,1)  | (15,11,6,1)  | (18,15,11,5,1)  | (21,18,15,11,5,1)  | (24,21,18,15,11,5,1) |
| (3) | (7,1)  | (11,7,1)  | (15,11,7,1)  | (18,15,11,6,1)  | (21,18,15,11,6,1)  | (24,21,18,15,11,6,1) |
| (4) | (8,1)  | (12,7,1)  | (16,11,7,1)  | (18,15,11,7,1)  | (21,18,15,11,7,1)  | (24,21,18,15,11,7,1) |
| (5) | (8,2)  | (12,8,1)  | (16,12,7,1)  | (18,16,11,7,1)  | (21,18,16,11,7,1)  | (24,21,18,16,11,7,1) |
|     | (9,2)  | (12,8,2)  | (16,12,8,1)  | (18,16,12,7,1)  | (21,18,16,12,7,1)  | (24,21,18,16,12,7,1) |
|     | (9,3)  | (13,8,2)  | (16,12,8,2)  | (19,16,12,7,1)  | (21,19,16,12,7,1)  | (24,21,19,16,12,7,1) |
|     | (10,3) | (13,9,2)  | (16,13,8,2)  | (19,16,12,8,1)  | (21,19,16,12,8,1)  |                      |
|     | (10,4) | (13,9,3)  | (16,13,9,2)  | (19,16,12,8,2)  | (22,19,16,12,8,1)  |                      |
|     | (10,5) | (13,10,3) | (16,13,9,3)  | (19,16,13,8,2)  | (22,19,16,12,8,2)  |                      |
|     | (11,5) | (13,10,4) | (17,13,9,3)  | (20,16,13,8,2)  | (22,19,16,13,8,2)  |                      |
|     |        | (14,10,4) | (17,13,10,3) | (20,16,13,9,2)  | (22,20,16,13,9,2)  |                      |
|     |        | (14,10,5) | (17,13,10,4) | (20,16,13,9,3)  | (22,20,16,13,9,2)  |                      |
|     |        | (15,10,5) | (17,14,10,4) | (20,17,13,9,3)  | (22,20,16,13,9,3)  |                      |
|     |        | (15,11,5) | (17,14,10,5) | (20,17,13,10,3) | (22,20,17,13,9,3)  |                      |
|     |        |           | (17,15,10,5) | (20,17,13,10,4) | (22,20,17,13,10,3) |                      |
|     |        |           | (17,15,11,5) | (20,17,14,10,4) | (23,20,17,13,10,3) |                      |
|     |        |           |              | (20,17,14,10,5) | (23,20,17,13,10,4) |                      |
|     |        |           |              | (20,17,15,10,5) | (23,20,17,14,10,4) |                      |
|     |        |           |              | (21,17,15,10,5) | (23,20,17,14,10,5) |                      |
|     |        |           |              | (21,17,15,11,5) | (23,21,17,15,10,5) |                      |
|     |        |           |              |                 | (23,21,17,15,11,5) |                      |
|     |        |           |              |                 | (24,21,17,15,11,5) |                      |

Tomado de Friedman y Sartori, 1965, p. 70.

El conocimiento de que el número de electrones es pequeño permitió obtener una conclusión indirecta acerca de los otros componentes del átomo: deben ellos contener prácticamente toda la masa.

Frente al átomo de Thomson se levantaron objeciones desde un primer momento: por un lado la clásica de que electrones en movimiento orbital deberían irradiar energía, de acuerdo con las teorías electromagnéticas y, por lo tanto, el átomo sería, en último término inestable. Objeción que se debilitaba si se consideraba sólo las configuraciones estacionarias de electrones. Una objeción más importante es que las "esferas positivas de Kelvin deberían tener una inercia electromagnética despreciable comparada aún con la de un solo electrón negativo, dejando a toda la masa del átomo sin explicación teórica" (Harkins & Wilson, 1915). Esta objeción se vuelve importante al consolidarse la idea de que el número de electrones que contiene un átomo es pequeño.

Sin embargo, es bien conocido el hecho de que fue el átomo nuclear de Rutherford quien dio muerte definitiva al modelo de Thomson.

## EL ATOMO DE LOS FISICOS

En 1915 William Harkins y Ernest Wilson publicaron un artículo titulado "Recent Work on the Structure of the Atom", en el cual afirman ya que:

"La primera teoría de la constitución del átomo con algún trabajo experimental en su base es la debida a Rutherford, quien hizo uso del fenómeno de la dispersión de partículas alfa y beta al pasar a través de la materia... No parece haber duda de que estas partículas pasan a través de los átomos y de que sus desviaciones se deben al intenso campo eléctrico en el interior del átomo. Los cálculos muestran que la disposición de la electricidad positiva asumida en el átomo de Thomson no admite campos suficientemente fuertes como para desviar en un ángulo tan grande a una partícula alfa... para obtener tal desviación, la carga positiva debe estar concentrada en un pequeño punto en vez de estar uniformemente distribuida a través del volumen entero del átomo... Los electrones vibran alrededor de este núcleo positivo formando una especie de minúsculo sistema solar. Este es el átomo sugerido por primera vez por Nagaoka".

¿A qué se debe esta gran diferencia de apreciación entre la cita de Langmuir que hacíamos al principio de este escrito y el punto de vista de Harkins y Wilson, químicos del Laboratorio Kent de la Universidad de Chicago? Tal vez la clave se encuentre algo más adelante en el mismo artículo de Harkins y Wilson, cuando dicen:

"Hasta este punto, fuera de que el átomo es una especie de sistema saturniano nada ha sido dicho respecto a la ordenación de los electrones en

el átomo o a la distribución de las fuerzas. *El primer intento para tratar el problema como un problema mecánico y dar una imagen definida del átomo fue hecho por Bohr*". (Harkins y Wilson, 1915, p. 1404. Subrayado por JLV).

Es la unión de las experiencias de Rutherford con las ideas mecánicas de Bohr lo que parece tan aceptable y lo que da fuerza al modelo. El átomo de Bohr es aceptable porque es newtoniano. Porque se integra a toda la mecánica clásica, una vez aceptados los postulados de cuantización de la energía. Y esto parece muy distinto a la construcción inductiva y lenta de los metafenómenos de los químicos que explican muchos fenómenos experimentales, postulando diversas estructuras electrónicas, pero no dicen nada sobre "la distribución de fuerzas" en el interior del átomo. El modelo que más se había acercado a utilizar las dos vías era el de Thomson y contra este sí era una prueba experimental definitiva en contra del argumento de Rutherford. Después de las experiencias de Geiger y Marsden, el átomo nuclear era el único basado en la experiencia. No porque fuera el único para construir el cual se hubieran usado resultados experimentales, sino porque había un resultado experimental que no parecía dar base sino a este y refutar todos los demás.

El átomo de Bohr se inspira en el experimento de Rutherford, pero no sólo en él. Lo hace también en toda la espectroscopia experimental y en las ideas de la mecánica cuántica de Planck.

"En un intento de desarrollar ciertos esquemas de una teoría de los espectros de líneas basado en una aplicación apropiada de las ideas fundamentales de Planck en su teoría de la radiación térmica a la teoría del átomo nuclear de Sir Ernest Rutherford, el autor (Niels Bohr) ha mostrado que es posible, de esta manera, obtener una interpretación simple de algunas de las leyes principales que gobiernan los espectros de líneas de los elementos y, especialmente, obtener una deducción de la bien conocida fórmula de Balmer para el espectro del hidrógeno". (Bohr, 1918).

El modelo atómico de Bohr es demasiado conocido para extenderlo sobre él aquí. Baste recordar que se basaba en los dos postulados:

"I. Que un sistema atómico puede —y puede únicamente— existir en una cierta serie de estados correspondientes a una serie discontinua de valores para su energía y que, en consecuencia, cualquier cambio de la energía del sistema, incluyendo la emisión y la absorción de radiación electromagnética, debe tener lugar a través de una transición completa entre dos de tales estados. Estos estados serán llamados los "estados estacionarios" del sistema.

"II. Que la radiación emitida o absorbida durante una transición entre dos estados estacionarios es 'unifrecuente' y posee una frecuencia  $\nu$ , dada por la relación

$$E' - E'' = h\nu$$

donde  $h$  es la constante de Planck y  $E'$  y  $E''$  son los valores de la energía en los dos estados considerados". (Bohr, 1918).

Hasta aquí es sólo una aplicación de las ideas de Planck al problema de los espectros de líneas. No hay modelo todavía.

"Sin embargo, para obtener una conexión *teórica* entre estos valores y la evidencia experimental sobre la constitución del átomo obtenida a partir de otras fuentes, es necesario introducir nuevas suposiciones acerca de las leyes que gobiernan a los estados estacionarios de un sistema atómico dado y las transiciones entre estos estados.

"Con base en una vasta cantidad de evidencia experimental, somos forzados a suponer que un átomo o una molécula consiste en un número de partículas electrificadas en movimiento y ya que las suposiciones fundamentales anteriores implican que no hay emisión de radiación en los estados estacionarios, debemos suponer, en consecuencia, que las leyes ordinarias de la electrodinámica no pueden aplicarse a estos estados sin alteraciones radicales". (Ibid., subrayado por JLV).

Las "suposiciones adicionales" de Bohr son enormes: 1) Hay que cambiar la física clásica. 2) Los átomos están formados por partículas en movimiento. En esta última parece seguir sencillamente la corriente de todos los modelos atómicos que habían sido postulados hasta el presente. La "herencia de Thomson", como la llama Kragh (Kragh, 1977). Es decir, la vasta cantidad de conocimientos a la que se refiere era, sobre todo, proveniente de la química. La otra fuente eran las teorías electrónicas del magnetismo y del estado metálico.

Desde 1913 Bohr estaba firmemente convencido, como los químicos de su época, de que el número de electrones es igual al número ordinal del elemento en el sistema periódico. Sin embargo, cuando trata de aplicar su teoría del átomo de hidrógeno a átomos más pesados, se da cuenta él mismo de que su desarrollo es aún muy precario para poderlo extender. Por esta razón, la usa sólo como un hilo de Ariadna.

"Sobre el punto de vista general de la formación de los átomos, sin embargo, y haciendo uso del conocimiento de las propiedades de los elementos correspondientes, se tratará de... obtener indicaciones de qué configuraciones de los electrones puede esperarse encontrar en los átomos". (Bohr, 1913b).

En el resto del desarrollo es claro que los principios mecánicos y los postulados cuánticos dan de manera general la base para el cuadro. Los argumentos inductivos a partir de la química permitirán su desarrollo.

Es así como llega Bohr a sugerir que en los átomos multielectrónicos, los electrones se disponen en anillos que contienen números máximos bien definidos de electrones proponiendo la siguiente tabla:

#### LAS ESTRUCTURAS DE BOHR

|    |          |    |             |    |               |
|----|----------|----|-------------|----|---------------|
| H  | 1(1)     | F  | 9(4,4,1)    | Cl | 17(8,4,4,1)   |
| He | 2(2)     | Ne | 10(8,2)     | Ar | 18(8,8,2)     |
| Li | 3(2,1)   | Na | 11(8,2,1)   | K  | 19(8,8,2,1)   |
| Be | 4(2,2)   | Mg | 12(8,2,2)   | Ca | 20(8,8,2,2)   |
| B  | 5(2,3)   | Al | 13(8,2,3)   | Sc | 21(8,8,2,3)   |
| C  | 6(2,4)   | Si | 14(8,2,4)   | Ti | 22(8,8,2,4)   |
| N  | 7(4,3)   | P  | 15(8,4,3)   | V  | 23(8,8,4,3)   |
| O  | 8(4,2,2) | S  | 16(8,4,2,2) | Cr | 24(8,8,4,2,2) |

El ensayó a hacer cálculos cuantitativos sobre los átomos más livianos, He, Li y Be. En el caso del Li calcula para la energía del estado (2,1) -218 eV y para el estado (3,0) -240 eV. Esto es, demostró que el Li tiene tres electrones en el mismo anillo. Sin embargo, "considerando las propiedades químicas" asigna la estructura que según sus cálculos es menos estable. Es este mismo tipo de razonamientos el que lo lleva a postular el octete para el anillo de los gases nobles, que no es la estructura más estable, según sus cálculos.

¿Dónde estaba la discrepancia entre el modelo de Bohr y los resultados de los químicos? ¿Por qué era que Langmuir, quien sostenía correspondencia con Bohr, dejaba entender que el "átomo de los físicos" (léase: el átomo de Bohr) no explicaba las propiedades químicas si, como hemos visto, sí explicaba muchos aspectos de la tabla periódica e incluso se basaba en ella y no en sus cálculos cuando había discrepancia?

Hay una diferencia fundamental entre los dos tipos de modelo. Mientras que los modelos de los químicos explican un número muy grande de propiedades químicas, no ofrecen un modelo detallado de las fuerzas o de los mecanismos de su acción. Lewis postula su cubo y su octete pero no hace cálculos que permitan estimar la estabilidad relativa de este cubo ni explicar por qué esta estructura deba ser cúbica ni mucho menos por qué se tendería a ganar la estructura del gas noble más vecino. Tampoco explica por qué deberían formarse pares de electrones que dieran la estabilidad a los enlaces covalentes.

Estas limitaciones llevan a que el modelo no tenga capacidad de predicción cuantitativa.

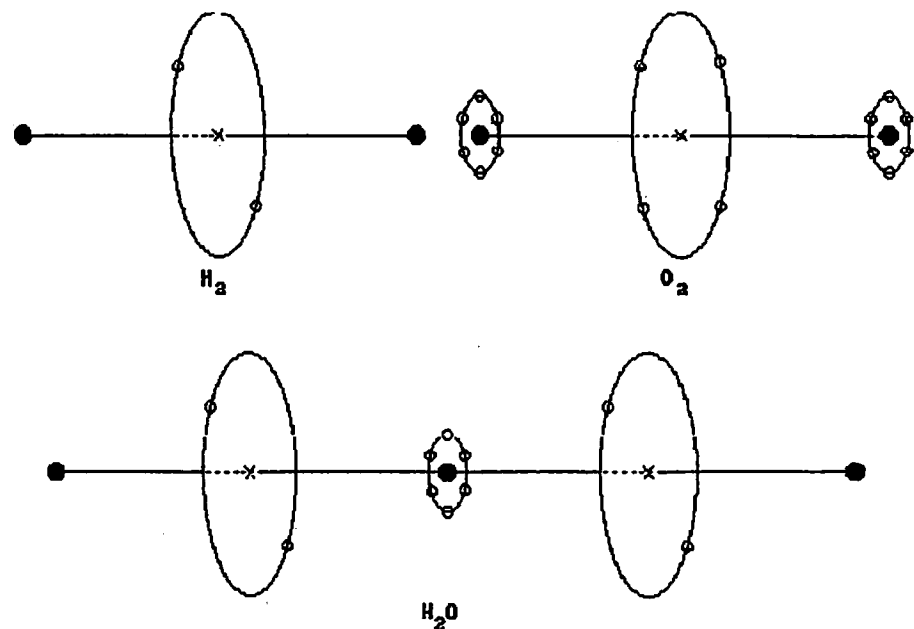
El modelo de Bohr, por otra parte, es un mentefacto mecánico. Está inspirado en la mecánica racional y el electromagnetismo clásicos, y la incorporación a ellos de los postulados observacionales y de la idea de la cuantización, lleva a un modelo en el cual las fuerzas y los mecanismos están explicados, es decir, reducidos a unos pocos principios fundamentales. Cuantitativamente logra un éxito notorio al reducir la constante de Rydberg a constantes fundamentales de la naturaleza y calcularla con enorme precisión. Su cálculo del espectro del átomo de Hidrógeno es excelente. Su explicación del enlace covalente en la molécula de Hidrógeno también parece corresponder a una racionalización y a una reducción a primeros principios. Pero su contenido empírico se agota aquí.

La ley de Coulomb y la disposición en órbitas planetarias cuantizadas permiten construir un modelo bueno del átomo unielectrónico y un modelo aceptable de la molécula diatómica formada por un par de estos átomos, pero para los químicos es más importante la estructura de las moléculas que la de los átomos y esta misma debe ser, en principio, inferida a partir de aquella, más aún si se tiene en cuenta que los experimentos en los cuales podemos basar nuestras ideas sobre la estructura atómica se hacen todos con moléculas y no con átomos aislados, incluyendo el famoso experimento de la dispersión de las partículas alfa, que en esos días parecía el "único experimento que servía para basar en él una teoría atómica".

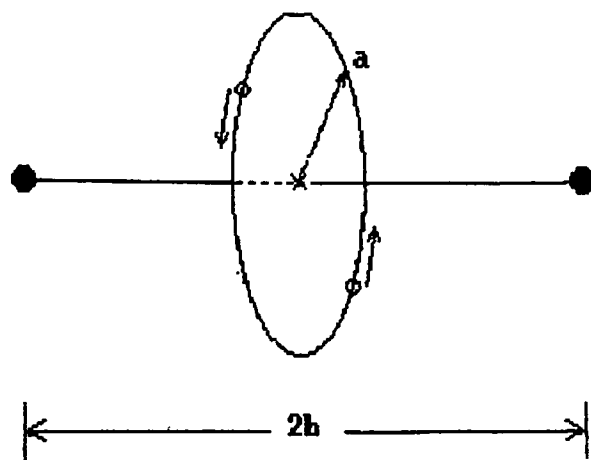
Bohr era consciente de ello y, desde el primer momento creyó que su teoría servía para explicar la formación de las moléculas:

"Además de una muy sugestiva indicación para el entendimiento del sistema periódico de los elementos, las consideraciones en cuestión llevan a una teoría de las combinaciones químicas, una teoría que permite seguir el proceso de combinación de los átomos en detalle y que, aplicada a los sistemas más simples da inmediatamente el resultado de que dos átomos de hidrógeno se combinarán para formar una molécula, mientras que dos átomos de He no lo harán". (Bohr, 1913d).

En resumen, la teoría de Bohr del enlace químico consistía en suponer que en una molécula la mayor parte de los electrones de cada átomo permanecen casi sin alteración en una configuración similar a la que tienen en el átomo aislado y sólo unos pocos cambian su organización, pasando a formar un anillo en rotación alrededor del eje internuclear. Es este anillo el que mantiene unidos a los núcleos, constituyendo así el enlace químico. En 1912, él dibujaba las moléculas siguiendo esta idea:



La única molécula que Bohr discutió cuantitativamente en detalle fue la molécula de  $H_2$ , formada por un anillo con dos electrones que ligan a los dos núcleos positivos. Bohr logró mostrar que tal configuración posee estabilidad mecánica: si los dos hidrógenos se encuentran a una distancia  $2b$  y los electrones giran en un círculo de radio  $a$ :



la condición de equilibrio para los electrones es:

$$\frac{2e^2 a}{(a^2 + b^2)^{3/2}} = \frac{e^2}{(2a)^2} + \frac{mv^2}{a}$$

donde se ha escrito de un lado la componente radial de la atracción nuclear, y del otro la repulsión interelectrónica y la fuerza centrífuga. Por su parte, la condición de equilibrio para los núcleos es:

$$\frac{2e^2 b}{(a^2 + b^2)^{3/2}} = \frac{e^2}{(2b)^2}$$

que expresa el balance entre la repulsión internuclear y el componente axial de la atracción electrónica.

Eliminando  $b$  entre estas dos ecuaciones, se obtiene:

$$\frac{e^2}{a^2} F = \frac{mv^2}{a}$$

donde  $F = (3^{3/2} - 1)/4 = 1.049$ . La energía cinética y potencial de los electrones serán entonces, respectivamente:

$$E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{e^2}{2a} F$$

$$E_{\text{pot}} = - \int_a^{\infty} \frac{e^2}{v^2} F dr = - \frac{e^2}{a} F$$

y la energía total:

$$E_{\text{tot}} = -W = - \frac{e^2}{2a} F$$



Hasta aquí el cálculo es enteramente clásico y este cálculo no permite obtener valores explícitos de  $E$ , pues dependen de  $a$  que es desconocido. Para fijar el valor de  $a$ , Bohr introdujo para el anillo de electrones su postulado de cuantización del momento angular:

$$mva = \frac{h}{2\pi}$$

$$\Rightarrow a = \frac{h^2}{4\pi^2 e^2 m} \times \frac{1}{F}$$

$$\Rightarrow W = \frac{4\pi^2 e^4 m}{h^2} F^2$$

Así, pudo estimar el valor predicho por su modelo para la energía de formación de una molécula de  $H_2$ , obteniendo 60 kcal/mol, que se comparaba muy bien con el valor de 76 kcal/mol medido experimentalmente por Langmuir, quien alabó la teoría de Bohr en toda la correspondencia que sostuvieron por aquellos días. (Kragh, 1977).

El modelo de Bohr en 1913 era entonces, para la química, mucho más que un modelo atómico. Había empezado a dar explicaciones de la Tabla Periódica, gracias al cuidadoso equilibrio mantenido por su autor entre predicción cuantitativa a partir del modelo y construcción inductiva del mentefacto como síntesis de datos experimentales. Pero, además, y es injusto que Bohr sea poco recordado por esto, dio la primera teoría coherente del papel que juegan los electrones en el enlace químico. Teoría que no sólo presentaba la idea del par electrónico central como responsable del enlace, sino que permitía hacer cálculos cuantitativos, que llevaban a acuerdos razonables con la experiencia.

Langmuir conocía bien el trabajo de Bohr sobre los átomos y las moléculas y lo había recibido con entusiasmo; sostenía correspondencia con él y le había enviado los datos experimentales necesarios para verificarlo. ¿Cuál era entonces el sentido del escrito que citábamos al comienzo? Su artículo de 1919 continúa así:

“Kossel y Lewis han tenido notorio éxito al atacar el problema en esta forma (la forma “química”)... Lewis, dejando de lado los datos físicos como insuficientes o no conclusivos, razona a partir de los datos químicos y llega a la conclusión de que los electrones en los átomos son normalmente estacionarios en su posición”.

He aquí la razón fundamental de la discrepancia. Bohr y los físicos colocaban electrones en movimiento para obtener situaciones de equilibrio. Los químicos para poder reproducir los datos de la química estructural necesitaban electrones estáticos.

“Hay mucha evidencia química, especialmente en el campo de la estereoquímica, de que las fuerzas primarias de valencia entre los átomos actúan en direcciones casi fijas unas con respecto a las otras. Esto sólo puede ser explicado satisfactoriamente por electrones ordenados en tres dimensiones... El comportamiento entero de los cuerpos indica que los átomos se organizan en cadenas ramificadas en las cuales la mayoría de ellos se ven rodeados por otros dos o tres. Puesto que los cuerpos son definitivamente sólidos debe seguirse que los átomos no son capaces de desplazarse en sus posiciones relativas excepto cuando se actúa sobre ellos con fuerzas externas intensas. Tales estructuras son inconcebibles si los átomos sólo contienen electrones girando en sus órbitas alrededor del núcleo”. (Langmuir, 1919).

“Si los electrones van a ser considerados como parte esencial del proceso de la unión de un átomo a otro en la molécula, parecía imposible que pudieran ser gobernados por las simples leyes de fuerza y de trayectoria orbitales requeridas por la teoría planetaria. La permanencia de los arreglos atómicos, aún en moléculas muy complejas, es uno de los más notorios entre los fenómenos químicos. Los isómeros mantienen su identidad a lo largo de años, a menudo sin la más mínima transformación apreciable. Una molécula orgánica tratada con reactivos poderosos a menudo sufre cambios radicales en una parte de la molécula pero el resto no parece sufrir cambio. Parece inconcebible que estas configuraciones permanentes aunque esencialmente inestable pudieran resultar de la simple ley de fuerza encerrada en la ley de Coulomb”. (Lewis, 1923, p. 55).

Al comenzar este siglo los químicos estaban ya convencidos de las hipótesis de la química estructural, que asignan una forma geométrica definida espacial a las moléculas. La existencia de isómeros, especialmente isómeros espaciales pero sobre todo, la existencia de quiralidad a nivel molecular eran evidencia de ello. La actividad óptica en el caso de los cristales se sabía debida a la simetría espacial del cristal. La existencia de esta propiedad en sustancias líquidas o en soluciones incluso muy diluidas parecía evidencia de que la simetría espacial es una propiedad importante a nivel molecular. Un átomo planetario, por el contrario, parece ser un cuerpo isotrópico, en el cual no tienen por qué engendrarse direcciones privilegiadas. Un electrón girando alrededor de una órbita, sometido únicamente a la ley de Coulomb y a los postulados de Bohr no parece ser la fuente de tanta estabilidad como la de la materia, de tantos isómeros, de tanta evidencia de rigidez espacial a nivel molecular.

Para Kossel, Lewis, Langmuir y otros químicos preocupados por construir una teoría de la estructura atómica y molecular, la teoría de Bohr era manifiestamente incompleta.

## LA TEORIA DE LEWIS

En 1916 Gilbert Newton Lewis publicó su artículo básico desarrollando sus ideas de 1902 y dando una explicación unitaria del enlace químico. Es de este artículo que nos habla Langmuir cuando dice que el punto de vista químico ha tenido notorio éxito.

La estructura atómica nos es explicada a partir de seis postulados:

- "1) En cada átomo hay un 'kernel' esencial que permanece inalterado en todos los cambios químicos ordinarios y que posee un exceso de carga positiva que corresponde en número al ordinal del grupo de la tabla periódica al cual pertenece el elemento.
- "2) El átomo está formado por el 'kernel' y el 'átomo externo' o 'capa' que, en el caso de un átomo neutro, contiene un número de electrones negativos igual al de cargas positivas en el 'kernel', pero el número en la capa puede variar durante el cambio químico entre cero y ocho.
- "3) El átomo tiende a tener un número par de electrones en la capa y especialmente a mantener ocho electrones, que se ordenan normalmente en forma simétrica en los ocho vértices de un cubo. (Más tarde veremos la conveniencia de modificar esta suposición del arreglo cúbico fundamental de los ocho electrones). (Nota de pie de página de GNL).
- "4) Dos capas atómicas son mutuamente impenetrables.
- "5) Los electrones pasan con facilidad de una posición en la celda a otra. Sin embargo, se mantienen en posición por restricciones más o menos rígidas y estas posiciones y la magnitud de las restricciones es determinada por la naturaleza del átomo mismo y de los que estén combinados con él.
- "6) Las fuerzas eléctricas entre partículas que están muy cerca unas de otras no obedecen la simple ley de inverso de los cuadrados que obedecen a mayores distancias". (Lewis, 1916).

Este modelo exitoso tiene varios puntos en común con el de los físicos: Sólo un subconjunto de electrones del átomo es responsable de sus propiedades químicas; el par de electrones que mantiene a los dos protones unidos en el modelo de Bohr aparece aquí como manifestación de una ley general; en ambos casos se renuncia a seguir estrictamente las leyes de la electrodinámica clásica. Bohr las reemplaza por su cuantización del momento angular. Lewis por su tendencia a ocupar posiciones en las cuales el movimiento está más o menos restringido, sin que entre en mayor detalle sobre el origen o forma de esta restricción.

Bohr calcula cuantitativamente la energía de enlace en la molécula de hidrógeno con un acuerdo bastante satisfactorio con la experiencia.

Lewis explica una gran cantidad de fenómenos de la química. Su uso de las reglas del octete y del par electrónico (Postulado 4) son suficientemente conocidos como para detenernos aquí en ellos. Su unificación de las teorías del enlace químico parte del Postulado 4:

"De acuerdo con la teoría que estoy presentando no es necesario considerar a los dos tipos extremos de combinación química correspondientes a los compuestos muy polares y muy no-polares, como de diferente naturaleza, sino solamente como de grado diferente. Esto se debe a la suposición de la impenetrabilidad de las capas atómicas hecha en el Postulado 4. Así un electrón puede formar parte de la capa de dos átomos diferentes y no puede decirse que pertenezca a ninguno de ellos exclusivamente". (Lewis, 1916).

Langmuir llamó covalente a este enlace propuesto por Lewis y estas ideas han sido usadas por los químicos a lo largo de los setenta años que han transcurrido desde su publicación. Curiosamente, Lewis propuso su postulado para unificar las teorías del enlace químico, pero ellas han seguido siendo dualistas.

Al mismo tiempo, los químicos aceptaron las ideas de Bohr. El átomo planetario se impuso. La descripción de la tabla periódica basada en él se volvió corriente. Las capas de Bohr y la capa de Lewis se confundieron.

La base teórica de la química se volvió así un híbrido incoherente de ideas basadas en la cuantización, en los espectros, en el par electrónico y en la tendencia no explicada a completar octetes. Dos explicaciones complementarias conviven. Al hablar de átomos se usa una descripción cercana a la de Bohr. Al hablar de moléculas grandes Lewis predomina. El advenimiento de la teoría cuántica entre 1925 y 1930 sólo empeoró la situación, pues ahora la complementariedad es entre los tres marcos conceptuales. (Daza, 1985).

Para Lewis la situación era diferente. El entrevió que las ideas de Bohr y las suyas podían reconciliarse en una sola teoría coherente, pero para ello era necesario un rompimiento conceptual con el pasado, mucho más fuerte que el realizado en la trilogía de 1913. (Lewis, 1923). Cuando la teoría cuántica se desarrolló, el resplandor fue muy fuerte y deslumbró a los científicos del momento que creyeron haber encontrado la solución a todos los problemas del mundo molecular. Su desarrollo, sesenta años después no ha llevado a esta solución. Pero sí ha llevado a reivindicar, con mucha tardanza, muchas de las ideas que Langmuir llamara el punto de vista de los químicos. (Leroy, 1983).

## BIBLIOGRAFIA

- ABEGG, R., 1904, Z. Anorg. Chem. 39,330. (Citado por Lewis, 1923).
- BOHR, N. (1913a) Phil. Mag. 25,10.
- BOHR, N. (1913b) Phil. Mag. 26,476.
- BOHR, N. (1913c) Phil. Mag. 26,857.
- BOHR, N. (1913d) Carta a Heresy. Feb. 1913. (Citado por Kragh, 1977).
- BOHR, N. (1918) Kgl. Danske Vid. Selsk. Skr. nat-math Afd., 8 Raecke IV 1.
- BOHR, N. (1922) "Theory of Spectra and Atomic Constitution". London, 1922.
- DAZA, E. (1985) Comunicación Personal.
- DAVY, H. (1812) "Elements of Chemical Philosophy". (Citado por Partington, vol. IV, p. 35).
- FRIEDMAN, F. L.; SARTORI, L. (1965) "The Classical Atom", Addison Wesley N. Y.
- KELVIN. (1902) Phil. Mag., 3,257. (Citado en Harkins H. D. y Wilson E. D.; J. Am. Chem. Soc. 37, 1396, 1915).
- KRAGH, H. (1977) J. Chem. Educ. 54,209.
- LANGMUIR, I. (1919 I) J. Am. Chem. Soc. 41,868.
- LANGMUIR, I. (1919 II) J. Am. Chem. Soc. 41,1543.
- LEROY, G. (1983) Academie Royale de Belgique, Bulletin de la Classe des Sciences, Tomo LXIX, pág. 352.
- LEWIS, G. N. (1916) J. Am. Chem. Soc. 38,762.
- LEWIS, G. N. (1923) "Valence and the Structure of Atoms and Molecules". The Chemical Catalog Company Inc. (Hay reimpresión hecha por Dover en 1966).
- LODGE, O. (1906) "Electrons". London: G. Bell 5th Ed., 1919. (Citado por Friedman y Sartori).
- MENDELEEFF, D. I. (1905) "Principles of Chemistry", 1905, ii, pág. 30. (Citado por Partington, vol. VI, pág. 894).
- MOSELEY, H. G. J. (1913) Phil. Mag. 26,1024.
- MOSELEY, H. G. J. (1914) Phil. Mag. 27,703.
- NEWLANDS, J. A. R. (1865) Chem. News., xii, 83. (Citado por Partington, vol. IV, p. 887).
- PARTINGTON, J. R. (1972) "A History of Chemistry". London, The McMillan Press, 4 volúmenes.

- PROUT, W. (1815) Annals of Philosophy, VI, p. 321. (Citado por Partington, vol. IV).
- PROUT, W. (1816) Annals of Philosophy, VII, p. 111. (Citado por Partington, vol. IV).
- PROUT, W. (1834) Chemistry Meteorology and the function of digestion considered with reference to Natural Theology. (Citado por Partington, p. 224).
- RYDBERG, J. (1897) Z. Anorg. Chem., 14,66. (Citado por Lewis, 1923).
- RYDBERG, J. (1914) Phil. Mag. (6), 28,144. (Citado por Lewis, 1923).
- THOMSON, J. J. (1897) Phil. Mag. 44,293. (Citado por Friedman y Sartori, p. 56).
- THOMSON, J. J. (1904) Phil. Mag. 7,237.
- VAN DEN BROEK, A. (1913) Phys. Zeit. 14,32. (Citado por Lewis, 1923. Ver también Nature, xcii, 372, 1913).
- WILSON, H. A. (1911) Proc. Am. Phil. Soc. 1,366. (Citado por Friedman y Sartori, p. 67).

La impresión de este libro se  
terminó el 30 de noviembre de  
1989 en los Talleres Gráficos de  
EDITORA GUADALUPE LTDA.  
Bogotá, D. E. — Colombia

