

# LA QUIMICA ANALITICA: CIENCIA, DISCIPLINA Y HERRAMIENTA DE TRABAJO PARA EL QUIMICO

*Inés Bernal de Ramírez \**

*Departamento de Química  
Universidad Nacional de Colombia*

## **INTRODUCCION-ALQUIMIA\*\***

La Química Analítica es el conocimiento de la caracterización de las sustancias y por esta razón es la rama de la ciencia que se ocupa de las reacciones químicas, reconociendo las propiedades estructurales de las especies que intervienen en las mismas, sus condiciones de equilibrio y sus mecanismos.

Esta disciplina es el resultado de la curiosidad del hombre por conocer de qué están formadas las cosas y por qué se forman, cuya primera manifestación de la que se tenga noticia sucedió en Grecia cuando el Rey solicitó a Arquímedes la investigación para determinar si la corona que le entregara el orfebre era de puro oro o no. El genio de Arquímedes dio la solución estableciendo el primer método que permite conocer la composición de una sustancia determinando su peso específico. Sin embargo este destello creador fue único en la antigüedad, puesto que el hombre pensaba entonces principalmente en buscarle utilidad a las sustancias de que disponía para asegurarse alimento, vivienda y ciertas comodidades; por esta razón el pensamiento químico de esta época fue principalmente de síntesis obteniéndose como resultado un desarrollo industrial en metalurgia, cerámica, tintorería, cervecería y en el nacimiento de la inquietud sobre sustancias que embellecieran el cuerpo o prolongaran la vida. Este pensamiento reinó durante aproximadamente 15 siglos (Siglo XIII D. de C.).

Durante toda esta época floreció la Alquimia, pensamiento que entretecía una Química rudimentaria con otros extensos dominios de la experiencia humana como eran la religión, el folclore, la mitología, la magia, el misticismo.

Durante el Imperio Romano los conocimientos alquímicos se conservaron principalmente en los países africanos de donde vinieron a Europa con la invasión de los Moros.

El pensamiento analítico durante todo este tiempo fue bastante superficial como lo demuestra un escrito del Codex Germanicum publicado en el Siglo XIII que

prescribía para determinar la pureza del azufre: (1) "Si quieres probar si el azufre es bueno o no, coge un terrón en tu mano y llévatelo al oído. Si chasca en forma que tú lo oigas es bueno, pero si guarda silencio y no chasca no es bueno".

Sin embargo la idea de control por pesada ideada por Arquímedes no se había perdido en el transcurso del tiempo, como lo denota una ilustración de un escrito titulado Ordinal de Alquimia publicado en 1477 en Bristol y en el cual aparece el autor del libro Thomas Norton frente a una balanza protegida por una caja. Este alquimista a diferencia de sus contemporáneos trabajaba con balanza sensible y no al ojo.

Llegamos así hasta la época del Renacimiento a comienzos del siglo XVI, época en la cual las doctrinas tenidas como firmes en la época medieval comenzaron a ser objeto de duda y ataque.

## **IATROQUIMIA\***

Apareció en los primeros años de este siglo el suizo Theophrastus Paracelso (3) llamado a ser el iniciador de una nueva doctrina, la Iatroquimia que surgía de la crítica a la alquimia y a la medicina.

Considerando Paracelso el cuerpo humano como un organismo en el cual sucedían cambios químicos, propuso que en caso de enfermedad, dicho organismo necesita sustancias químicas que le comuniquen sus propiedades para reajustarlo.

Esta doctrina seguramente dio nuevo impulso al pensamiento analítico pues planteó el problema de verificar la potencia, virtudes, posibilidades y eficacia de los medicamentos químicos.

Parece ser que la experimentación en aquella época era de tipo directo. Se lee (1) que Basil Valentin un monje que se preocupaba por estos problemas, por la época de 1608 estaba experimentando con cierta sustancia. "Noticioso de que los cerdos del monasterio aumentaban en grasa luego de devorar los residuos de sus experiencias, introdujo cierta cantidad en la comida de sus desprevenidos hermanos, cuidando de exceptuarse él mismo a modo de control; el efecto sobre sus cofrades fue tan desgraciado que la mágica sustancia acabó por

\*\* Origen posiblemente oriental. Introducida a Europa por los musulmanes.

\* Trabajo presentado el día de su posesión como Miembro Correspondiente de la Academia.

\* Siglo XVI - Siglo XVII.

ser conocida con el nombre de antimonio, es decir, enemigo de los monjes”.

Como aporte positivo de la época de la Iatroquímica se le puede atribuir el mérito de haber mantenido viva la tradición experimental durante los siglos XVI y XVII, dando lugar al descubrimiento de nuevas sustancias.

El principal obstáculo para el desarrollo del pensamiento analítico en esta época fue la rigidez mental heredada de la reciente época de la alquimia. Hasta entonces se podría decir que los que se interesaban en la química eran trabajadores prácticos con escaso interés por la teoría. Sus ideas teóricas se asimilaban fácilmente con las nociones más corrientes. La segunda mitad del siglo XVII marcó el comienzo de una nueva era. En 1675 escribía Nicolás Lémery (1) “La vida del hombre es demasiado corta para intentar todo; el hombre piensa solo en lo que le es más necesario y gusta de seguir las rutas trilladas por otros”. Sin embargo Lémery trató de luchar contra esta inercia del pensamiento como queda consignado en su publicación “Curso de Química”, que muestra que su autor era un experimentado diestro y sus indicaciones, consecuencia indudable de su propia labor. Intentó relacionar las propiedades de las sustancias con unas supuestas formas de sus partículas últimas en una especie de teoría atómica, pero reconociendo sus limitaciones en el conocimiento.

Por esta época también apareció la enciclopedia química Opera Omnia publicada por Glauber en Amsterdam en la cual su autor pone de presente las limitaciones existentes para recoger y analizar sustancias gaseosas y hace notar que el problema que ocupaba principalmente el pensamiento químico de entonces era el estudio de la combustión. Así vemos surgir a Robert Boyle (2), (3), (4), (5) Robert Hooke, John Mayow, Tachenius y Sthal.

Boyle fue el primer exponente del sistema filosófico inductivo de Francis Bacon basado en la experimentación, la observación y la medida. Desarrolló algunas ideas razonadas concernientes a las reacciones y propuso algunos métodos sencillos de análisis químico, entre ellos el empleo de ciertos jugos vegetales como indicadores de ácidos, bases y sales. Boyle siempre trabajó en forma planeada y metódica aun cuando no siempre llegó a interpretar correctamente sus observaciones. Fue además un crítico especialmente de los iatroquímicos a quienes les ponía en evidencia la falta de claridad en sus escritos que denotaban la falta de conceptos claros en la teoría. El mayor servicio que Boyle prestó a la Química radicó en el campo de las concepciones teóricas pues luchó en contra de las ideas estancadas en los “elementos” Aristotélicos y de los “principios” Paracélsicos.

Dio la primera definición moderna de “elemento” así: (1) “Entiendo por elemento, ciertos cuerpos primitivos y simples, que no estando formados unos de otros, son los ingredientes de que se componen de modo inmediato los cuerpos y en los cuales se resuelven últimamente”. Simultáneamente Robert Hook y John Mayow estudiaron los fenómenos de la combustión y de la respiración; sin embargo como desconocían la técnica de aislar y manipular gases, sólo pudieron llegar al umbral de la verdad en cuanto a la composición del aire y la naturaleza de la combustión.

En la misma época Tachenius demostró poseer algunos conocimientos de las reacciones químicas y del análisis, entre ellas figuraron “la aplicación de la tintura de las agallas de ciertos pescados como reactivo cualitativo de algunas sales metálicas disueltas” (1).

### FLOGISTO\*\*

A finales del siglo XVII publicó Stahl (6) la teoría del Flogisto, nombre que dio al principio inflamable de los cuerpos combustibles, teoría basada en una observación superficial del fenómeno de la combustión y que confundía la combustibilidad, es decir, una propiedad, con una sustancia material hipotética. Esta teoría ignoraba dos hechos bien establecidos para entonces: 1o.- Que los metales aumentaban el peso al arder, y 2o.- Que un volumen de aire confinado se contrae en vez de expandirse, al hacer arder un cuerpo en su seno. Esta teoría coordinó cierto número de observaciones que de otra forma habrían permanecido inconexas, pero los descubrimientos experimentales de importancia realizados en aquel período, lo fueron a pesar de la teoría más que por su causa. Sin embargo, la teoría fue aceptada porque no existía en ese momento ninguna otra, aun por el químico que se distinguió en esta época, Herman Boerhaave, quien a pesar de que en sus escritos nunca mencionó el flogisto, dejó entrever que en su mente existía tal confusión (1).

Tal error no podía persistir por mucho tiempo y así sucedió que a mediados del siglo XVIII Joseph Black quien se consideraba médico, adelantó estudios sobre sustancias que pudieran disolver los cálculos urinarios. Con este fin examinó la “magnesia alba” (Carbonato básico de magnesio) descubriendo que producía efervescencia con los ácidos y que por ignición se convertía en un polvo blanco que ya no presentaba dicha propiedad y que había perdido siete doceavos de su peso original. Black demostró que esta pérdida se debía a un gas que se había separado del material al calcinarlo y al que denominó “aire-fijo”. Una vez más el conocimiento analítico surge para impulsar a la Química una nueva era y destruir la maraña de errores que la tenían frenada. Este experimento realizado en 1754 le permitió, además, conocer al autor, que el aire fijo formado por la calcinación de la magnesia era el mismo que se formaba por la combustión del carbón vegetal; Priestley (7) propuso por la misma época una nueva técnica a la que llamó química neumática, la cual al ser aprovechada junto con los experimentos de Black condujeron al descubrimiento de otros gases y a comprobar el carácter del agua como cuerpo compuesto.

Boyle había sembrado la inquietud sobre qué sustancias se consideraban compuestas y cuáles elementales; esta inquietud empezó entonces a dirigir los pasos de la curiosidad humana que a la vez perseguía el conocimiento de cómo sucedían las transformaciones químicas.

Apareció entonces en el panorama químico el sueco Sheel, dedicado a la farmacia, quien hizo numerosas experiencias originales con multitud de sustancias para determinarles sus propiedades. Sin embargo, su trabajo

\*\* Finales Siglo XVII - Principios Siglo XVIII.

fue de tipo cualitativo en contraste con el que estaba desarrollando su contemporáneo Black.

En Inglaterra también se trabajaba especialmente sobre el mismo problema: Joseph Priestley investigaba cualitativamente sobre "diferentes clases de aire" y Cavendish, por el contrario, gran exponente del trabajo cuantitativo fino y exacto, logró establecer la diferencia entre el "aire fijo" y el "aire inflamable" estableciendo su peso específico. Además, halló que la explosión de una mezcla de dos volúmenes del llamado "aire inflamable" con una de "aire desflogistizado" conduce a la formación de agua comprobando así que el agua era un compuesto de hidrógeno y oxígeno. Con su metódica forma de trabajar logró notar el proceso de fijación del nitrógeno atmosférico y el de producción de ácido nítrico. Además determinó los pesos relativos de potasio y calcio necesarios para neutralizar pesos idénticos de un ácido y le dio el nombre de pesos equivalentes.

Sin embargo, el gigante de esta época podría decirse que fue Lavoisier (8), (9) "el cual nunca concebió a la especulación nada que pudiera decidir el experimento, prestando constante atención al aspecto cuantitativo en sus experiencias" (1). Sus numerosos experimentos sobre calcinación y combustión lo llevaron al conocimiento irrefutable de que la supuesta pérdida del flogisto era en realidad la combinación con un constituyente gaseoso y activo de la atmósfera al que dio el nombre de oxígeno.

## **CIENCIA QUIMICA - INORGANICA** **Estequiometría\*\***

En un tratado publicado en 1789 afirmó Lavoisier (1) "se puede sentar en principio que en toda operación existe igual cantidad de materia antes y después de ella; que la cualidad y cantidad de los principios es la misma y que sólo existen cambios y modificaciones. Sobre este principio se funda todo el arte de hacer experiencias químicas". Desde este momento la Química Inorgánica adquiere el carácter de ciencia exacta.

A finales del siglo, Richter (10) y Proust formulan por primera vez las leyes que sientan las bases de la estequiometría. Son ellas la "Ley de las Proporciones Recíprocas", "mediante la cual se fijan las proporciones ponderables exactas para neutralizar una serie de ácidos por otra de bases", (1) propuesta por Richter y 5 años más tarde en 1799 Proust enunció la "ley de las Proporciones Constantes" la cual dice que un mismo compuesto contiene siempre los mismos elementos combinados en las mismas proporciones ponderables" (1).

Estas leyes abrieron un nuevo horizonte a la Química Analítica y le infundieron el espíritu que permitió su inmenso desarrollo en el siglo XIX. Empero a los químicos en esta época les preocuparon principalmente dos problemas: hallar una clasificación de los elementos conocidos y por otra parte establecer una nomenclatura común.

Respecto a las leyes recién establecidas, John Dalton (11) aplicó en 1801 la concepción atómica propuesta por Newton en 1642 en apoyo de su propia observación de las presiones ejercidas por los gases. Llegó a explicar

según su teoría, "que los átomos simples de un elemento determinado son perfectamente semejantes entre sí en peso y figura; no pueden crearse ni destruirse y se pueden unir con otros átomos simples en proporciones sencillas para formar moléculas" (1).

La teoría de la combustión de Lavoisier y la teoría atómica de la constitución de la materia de Dalton son los dos pilares sobre los que se ha construido toda la teoría de la Química actual.

El desarrollo de la Química Analítica en el transcurso del siglo XIX es tan abundante en descubrimientos y el número de investigadores es tan grande que no es posible tratar con detenimiento cada una de las distintas personalidades, dentro del marco reducido de este resumen histórico. Trataré de presentar únicamente un esbozo de ese inmenso trabajo.

En relación con el problema de clasificación de los elementos según sus propiedades, podemos recordar en primera instancia a Döbereiner (12) quien estableció triadas de elementos en las cuales el elemento intermedio poseía propiedades analíticas también intermedias entre los dos extremos. Posteriormente Newland (13) en 1863 indicó "que si se ordenaran los elementos conocidos en el orden creciente de sus pesos atómicos se da el caso de que varios elementos presentan propiedades similares a los de otros situados siete lugares antes o después de ellos".

Pocos años más tarde, en 1869 el químico ruso Mendeleeff (14), (15), (16) elaboró la misma idea y estableció el famoso sistema periódico de clasificación de los elementos. Acentuó la importancia de la periodicidad en las propiedades y explicó las discrepancias existentes suponiendo lugares vacíos aún, debido a la ausencia de elementos existentes en la naturaleza pero aún no descubiertos. Este sistema periódico de los elementos ha sido perfeccionado y completado posteriormente y se ha conservado como la mejor clasificación general.

En cuanto a nomenclatura, en 1787 fue publicado un nuevo sistema elaborado por los químicos franceses (1) Lavoisier, De Morveau, Berthollet (17) y Fourcroy los cuales vertían al francés los textos latinos y daban denominaciones precisas a algunos compuestos, tales como óxido de plomo, sulfato de barita, ácido sulfúrico; estas denominaciones fueron aceptadas y traducidas a otros idiomas.

Sin embargo, a principios del siglo, Dalton, siguiendo aún la línea de la costumbre alquímica, representó los elementos y los compuestos con símbolos, pero con una diferencia importante: Cada símbolo alquímico representaba una sustancia dada en cantidad indefinida, mientras que los símbolos de Dalton vinieron a representar un átomo simple, o un átomo compuesto (molécula) de dicha sustancia.

Berzelius (18), (28), sustituyó más tarde los símbolos de Dalton por letras, cada una de las cuales sirvió para representar el átomo y desarrolló el simbolismo que permite al químico interpretar en forma sencilla y exacta las transformaciones, sobre todo con las ecuaciones.

Al mismo tiempo que se ventilaban estos asuntos de interés general, los métodos de investigación analítica fundamentados en las leyes recientemente aceptadas ad-

\*\*Finales Siglo XVIII.

quirieron un impulso tal, que prácticamente todo el conocimiento actual en lo que llamamos analítica clásica se lo debemos a este siglo. Tanto la química inorgánica como la naciente Química Orgánica sufrieron este influjo.

A comienzos del siglo se distinguió por sus trabajos en Química Analítica Mineral, Martín Heinrich Klaproth (26), (19), (20), quien perfeccionó la desintegración de los silicatos mediante la fusión con potasa en crisol de plata. Introdujo la desecación y calcinación cuidadosa de los precipitados y la costumbre de dar no solamente los resultados finales de los análisis, sino también las pesadas parciales de los precipitados obtenidos. Con esta manera cuidadosa de operar, tuvo la fortuna de hallar una serie de sustancias fundamentales hasta entonces desconocidas.

Klaproth tuvo como alumno y colaborador directo a Berzelius (24) quien desplegó gran destreza en el análisis cuantitativo tanto inorgánico como orgánico, además de su gran aporte a la nomenclatura. Compuso además un escrito en 1835 sobre los fenómenos enigmáticos de aceleración de procesos químicos por presencia de sustancias en cantidades pequeñas y las cuales aparentemente no participaban en el proceso. A dicho fenómeno le llamó "catálisis".

#### **CIENCIA QUIMICA ORGANICA\*\***

"En 1831 Liebig (21) introdujo métodos experimentales adecuados para determinar la composición porcentual exacta de gran número de sustancias orgánicas y gracias a éste la química orgánica adquirió su carácter de ciencia exacta" (1).

"En 1832 Wohler (22) y Liebig publicaron un estudio en el cual demuestran la existencia de asociaciones comunes de átomos, que llamaron radicales y que podían permanecer inalterados a lo largo de una serie de transformaciones provocadas por medios químicos, en las restantes partes de las moléculas que los contenían" (1).

En 1852 Edward Frankland propuso la teoría de la valencia que designa a cada átomo una cierta capacidad de combinación con los demás átomos, expresable por un número determinado. En este mismo año Kekulé (23) llevó adelante su teoría fundamental sobre la estructura molecular de los compuestos orgánicos. Estableció la tetravalencia del átomo de carbono y la capacidad de este átomo para unirse con otros iguales y formar cadenas.

Casualmente en el mismo año otro químico, Archibald Scott Couper expresaba las mismas ideas en una revista francesa.

#### **ESTEREOQUIMICA**

Los conocimientos físicos empezaron a utilizarse entonces para analizar materiales. El primer experimento de que se tiene noticia fue aquel llevado a cabo por Pasteur en 1848, quien por aplicación de luz polarizada sobre sales de ácido tartárico pudo determinar que en una sola sustancia pueden presentarse dos formas cristalinas que son entre sí como un objeto y su imagen, imposibles de hacer coincidir. A este fenómeno se le dio el nombre

de isomería óptica y fue el comienzo de la estereoquímica.

Empezó entonces una época de síntesis de sustancias nuevas, especialmente aquellas de aplicación útil, época que aún se está viviendo, pero en la cual el pensamiento analítico siempre sigue o antecede al sintético.

El inglés Michael Faraday aportó en este tiempo toda su experiencia al desarrollo de la electroquímica y de los métodos de investigación cuantitativos. Sus leyes sobre la electrólisis publicadas en 1834 fueron muy importantes para el desarrollo ulterior de la Química. Además fijó la nomenclatura de los procesos eléctricos que ha llegado hasta nosotros.

Bunsen (25) quien fue un gran investigador en Química Analítica, estableció en 1859 un nuevo método analítico, el análisis espectral, aprovechando el mechero de gas de su invención. En este empeño le colaboró Gustav Kirchhoff logrando establecer su utilidad para determinar cantidades pequeñísimas de sustancias que por los medios ordinarios no hubieran podido reconocerse lo que condujo al descubrimiento de nuevos elementos y al desarrollo del análisis de indicios.

Averiguó además, la composición del sol y de las "estrellas fijas" lo que hasta entonces se consideraba imposible.

#### **FISICOQUIMICA\*\***

En 1867 Maximilian Guldberg y Peter Waage (26), (27), formulan la ley de acción de masas, fundamento para el cálculo de los equilibrios químicos. Nombres familiares para todo químico son los de Fehling, Liebig (28), Kjeldahl (9), Mohr, Volhard, Nessler, pues todos ellos propusieron diferentes métodos que en el presente son usados como los establecieron en el siglo pasado con ligeras modificaciones. Otros autores tal vez son menos conocidos, es el caso de Frédéric Margueritte (29), quien descubre por primera vez una técnica basada en oxidación reducción, la determinación de hierro con permanganato de potasio, y Frederick Penny quien utiliza para el mismo fin el dicromato de potasio, perfeccionando así la teoría propuesta por Mhor.

Además de métodos idearon la forma del material de vidrio apropiado para cada operación y construyeron la mentalidad de lo que es hoy un laboratorio de análisis químico.

Y así llegamos al umbral del siglo XX, comprobando que gran parte de la historia de la ciencia química, es la historia del continuo perfeccionamiento de los métodos analíticos, a la luz de todas las leyes que se han logrado establecer sobre el comportamiento de las sustancias químicas.

#### **MICROANALISIS**

Comienza a preocupar principalmente el análisis de pequeñas cantidades de sustancia, la determinación cuantitativa de los elementos en indicios y la estructura interna de las sustancias. Denigés (30) inicia el estudio para la determinación de trazas de fosfatos y arseniatos; junto al perfeccionamiento de las técnicas analíticas es-

\*\* 1831.

\*\* Finales Siglo XIX.

tablecidas, el austriaco Fritz Pregl trató de encontrar la forma de aplicar estos métodos cuando se cuenta con una muestra muy pequeña. Por los resultados alcanzados en el establecimiento del microanálisis orgánico se hizo acreedor al premio Nobel de Química en 1923.

### **MÉTODOS FÍSICOS**

El amplio desarrollo de la ciencia física, especialmente en los campos de la óptica, la electricidad y la electrónica han sido de una ayuda enorme en el campo del análisis químico.

Haré un recuento breve de los adelantos con que contamos en el presente (31):

En 1704 Isaac Newton anotó que un rayo de luz blanca se puede dispersar en rayos de luz de diversos colores por medio de un prisma. En 1800 Sir William Herschel descubrió que el espectro del sol se extendía más allá del rojo y en 1835 Melloni estudió el espectro infrarrojo.

Estos estudios a los que se les dio el nombre de Análisis Espectral o Espectroscopía se iniciaron para descubrir las características de las radiaciones luminosas, pero pronto se revelaron como métodos excelentes de análisis químico desde el tiempo de Bunsen (32) cuando se establecieron las interacciones entre la luz y la materia.

Así se ha podido establecer que la absorción de la radiación ultravioleta y visible es conveniente tanto para análisis de sustancias orgánicas como de inorgánicas. La radiación en esta región es de suficiente energía para causar transiciones de electrones de valencia o exteriores. Las bandas de absorción que se obtienen en este análisis son ideales para medidas cuantitativas, pero su aplicación está restringida a un número limitado de grupos funcionales llamados cromóforos. Este es un perfeccionamiento del método colorimétrico que fue propuesto por Nessler.

La absorción de la radiación infrarroja se usa principalmente en la identificación de compuestos orgánicos ya que la frecuencia de esta radiación iguala a la frecuencia de las vibraciones rotatorias y de deformación de las moléculas como son las de tijeras, oscilación, sacudida y torción.

Coblentz, del United States Bureau of Standards, construyó a principios de siglo el primer espectrógrafo infrarrojo y en 1919 Randall e Imes de la Universidad de Michigan obtuvieron el primer espectro que revelaba estructura rotacional. En 1935 quedó establecido el método como herramienta de análisis para aplicaciones industriales.

La espectrografía de masa que fue ideada por Aston en 1910, permite medir la masa atómica de los elementos que constituyen una sustancia, obteniendo el espectro de masa de dicho compuesto. Su utilidad reside en la posibilidad de separar los isótopos de los elementos, resolviendo así la incógnita surgida al examinar muestras de un mismo elemento, pero provenientes de diferentes fuentes geológicas y que mostraban distintos pesos atómicos, lo que permitía obtener fracciones de diferente densidad. Los pioneros de esta investigación fueron T.W. Richards y sus colaboradores en Harvard (33).

Muchos sistemas químicos son fotoluminiscentes, es decir, pueden ser excitados por radiación electromagnética (*U.V.*, ó *R.X.*) como consecuencia vuelven a emitir radiación de la misma longitud de onda o de una longitud de onda modificada. Si el proceso luminescente cesa casi inmediatamente después de suspender la radiación se trata de fluorescencia. En base a esta propiedad descubierta por Röntgen, se desarrolló el método de fluorometría por los años de 1955. Su uso es limitado, a pesar de ser un método muy sensible, debido al número relativamente pequeño de sustancias que presentan esta propiedad.

La radiación luminosa se dispersa al atravesar un medio transparente que contenga una segunda fase formada por partículas. Esta propiedad ha sido aprovechada para desarrollar dos métodos, la turbidimetría y la nefelometría muy utilizados en análisis de control de aguas.

En 1928, el físico hindú Ráman, descubrió además que en determinadas circunstancias, la longitud de onda de parte de la radiación dispersada por moléculas difiere de la del haz incidente y además que este cambio dependía de la estructura química de la molécula. La espectroscopía Ráman es ahora un útil instrumento para ciertos análisis cuantitativos, y tiene su principal aplicación en estudios estructurales de sistemas orgánicos e inorgánicos.

En 1955 Walsh y Alkemade propusieron en Estados Unidos el estudio de la absorción de energía radiante *U.V.* y visible por átomos neutros en estado gaseoso; así nace el método de absorción atómica de amplio uso en el análisis de elementos metálicos.

En 1969 se estudió la acción de la radiación de radio frecuencia sobre los núcleos que pueden dividirse según sus propiedades magnéticas, dando comienzo al útil método de Resonancia Magnética Nuclear, usado para la determinación de la estructura de especies orgánicas e inorgánicas.

Cuando la radiación de microondas es absorbida por los electrones en un campo magnético, proporciona también información estructural. A este método se le denomina Resonancia Giratoria Electrónica.

### **MÉTODOS QUÍMICOS**

A pesar del auge despertado por la utilización de métodos físicos, la investigación en métodos químicos no se ha dejado de lado pues es innegable que para microanálisis, son éstos los más importantes.

El análisis volumétrico ha tenido dos principales aportes como son: La introducción de acomplejantes y la utilización de solventes no acuosos.

La molécula del ácido etilen diamino tetracético, por su propiedad acomplejante revolucionó las técnicas analíticas de los iones metálicos hacia 1946. El primer trabajo cuantitativo presentado por Schwarzenbach (34) fue la determinación de calcio y magnesio, procedimiento que fue rápidamente adoptado para la determinación de la dureza del agua. Desde entonces la aplicabilidad de esta titulación ha sido extendida a la determinación de aproximadamente 50 elementos.

Otra modalidad muy utilizada actualmente es la valoración de ácidos y bases en solventes no acuosos tales como el etanol y el ácido acético glacial.

Con la obtención de nuevas sustancias por síntesis el campo de la analítica se amplía cada vez más. Es el caso de la tioacetamida, compuesto orgánico que al hidrolizarse deja en libertad gas sulfhídrico y que actualmente se está estudiando por la posibilidad de su utilización en el campo cuantitativo, para reemplazar el incómodo método clásico del burbujeo.

Con el avance en los conocimientos de las propiedades de las sustancias han surgido métodos tales como la cromatografía en la cual se aprovechan los fenómenos de adsorbtividad, capilaridad y solubilidad en sus distintas modalidades, para separar sustancias en cantidades pequeñísimas. Su aplicación en química orgánica y en fitoquímica es muy importante en la actualidad (35).

Para no alargarme más voy a omitir algunos métodos fisicoquímicos para nombrar finalmente como último desarrollo en el tiempo, el análisis por activación que se basa en el hecho de que cuando se bombardean con neutrones los átomos de un elemento, éste se vuelve radiactivo con un tiempo de vida media característico, que medido, puede darnos la respuesta analítica deseada. La cantidad de material empleado en este tipo de análisis es del orden de la diezmillonésima de gramo y día a día se impone en el campo de la Bioquímica.

## EN COLOMBIA

### *Precursores*

En el siglo XVII las Sociedades Científicas Europeas (36) tenían fijos sus ojos en América y se tiene noticia de varias expediciones organizadas para efectuar el inventario de los recursos de estas regiones. A la Nueva Granada vino don Antonio Ulloa (1716-1795), español, quien a su regreso a España en 1748 llevó platino y comprobó que se trataba de un cuerpo simple mediante los conocimientos analíticos con que contaba.

Posteriormente vino el vasco Juan José D. Elhuyar (1754-1796) quien a solicitud de D. José Celestino Mutis, organizó los trabajos de minería y la capacitación de personal en esta rama, en un sitio cercano a Mariquita (Tolima).

El primer laboratorio químico organizado con fines didácticos de que se tenga noticia fue traído al país por Don Jorge Tadeo Lozano (1771-1816) quien estudio química en Madrid y estableció la cátedra en el Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. En este colegio le sucedieron en la cátedra de Química Ezequiel Uricoechea (1834-1880) y Liborio Zerda (1830-1919) y en 1858 Vicente Restrepo (1837-1899) quien había estudiado química y mineralogía en París, estableció en Medellín un laboratorio para fundir y ensayar metales.

En los lapsos de las guerras de la Independencia y posteriormente a finales del siglo con motivo de la guerra civil, los estudios elementales de química fueron suspendidos en el nivel de bachillerato; en 1919 Antonio Ma. Barriga Villalba, quien fue discípulo y luego sucesor en la cátedra de Liborio Zerda, logró que estos estudios se reanudaran oficialmente en el programa de secundaria.

En los comienzos del siglo se distinguieron como catedráticos en Química a nivel universitario Francisco Montoya (1850-1922) y Eduardo Lleras Codazzi (1885-1960).

El doctor Montoya cursó carrera de Medicina en la Universidad Nacional, encargándose posteriormente de la cátedra de Química Orgánica. Su interés científico lo llevó a reunir una colección de minerales que se conservó en el Museo de la Salle hasta el 9 de abril de 1948.

El doctor Lleras Codazzi comenzó a trabajar en 1909 como "ensayador" en el Laboratorio Municipal de Bogotá y luego ascendió en 1914 a Químico Toxicólogo; como tal pasó a dirigir el Instituto de Medicina Legal, en donde se constituyó en una autoridad en la materia; dictó durante varios años la cátedra de Química en la Escuela de Cerámica del Colegio Mayor de Cundinamarca y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional iniciando a sus alumnos en los rudimentos analíticos.

La Química Analítica es ahora instrumento de trabajo en prácticamente todos los campos de la ciencia. Su influjo en la medicina, la geología, la metalurgia y las tecnologías en general hace de su estudio materia obligada a todos los estudiantes de estas disciplinas.

El estudio de esta materia en nuestro país como campo profesional es relativamente reciente como consecuencia de las circunstancias de nuestro desarrollo; se inició con la llegada del doctor Jorge Ancisar Sordo a la Universidad Nacional, quien viniendo doctorado en Química de Europa, logró interesar a las directivas en tan importante materia.

La primera cátedra de Análisis Cualitativo se dictó como curso regular en la Escuela de Farmacia en el año de 1933, incluyendo los principios básicos como el uso del soplete y la marcha sulfhídrica. Posteriormente se amplió a la cátedra de análisis cuantitativo, y más recientemente aún, por los años 60 se empezaron a conocer los métodos instrumentales. Este desarrollo ha sido acorde a las necesidades del país, puesto que el desarrollo industrial solo se empezó en la década de los 30, y si inicialmente los industriales no le dieron mayor importancia al análisis químico en sus factorías, con el desarrollo posterior que ha impuesto la calidad del producto como factor de precio, el análisis químico ha venido a ser un instrumento importante en el proceso económico del comercio interior y exterior.

Esta necesidad ha impulsado la creación de nuevas cátedras dentro del pensum de formación del Químico como son los Análisis Aplicados, en los cuales se familiariza el futuro profesional en el manejo de las normas internacionales de análisis, y la interpretación de sus resultados en función de la calidad del producto.

### *Laboratorios Actuales*

La amplitud de aplicaciones de este conocimiento y sus necesidades en la sociedad colombiana se hicieron sentir desde comienzos del siglo XX; en 1925 la Nación adquirió un laboratorio fundado en 1917 por los médicos Bernardo Samper y Jorge Martínez, concentrando en esta entidad las consultas en las cuestiones químicas que se presentaban a la Dirección Nacional de Higiene; así mismo se ocupó del análisis de aguas, bebidas alco-

hólicas y algunos alimentos. Simultáneamente existía otro Laboratorio en el que se resolvían los problemas químicos del Ministerio de Industrias y del Departamento de Minas y Petróleos del mismo Ministerio. Este laboratorio fue el inicio del Laboratorio Químico Nacional adjunto actualmente a Ingeominas. Posteriormente se organizaron laboratorios en el Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Instituto Colombiano Agropecuario y en la Superintendencia de Industria y Comercio desde donde se ejerce el control analítico de la calidad de muchos productos que se someten a exportación o provienen de la importación, o se dan las bases de desarrollo o de optimización de nuevas industrias.

En la labor analítica al servicio de la patria en las entidades citadas, se han forjado varios de nuestros actuales maestros de los cuales se pueden nombrar como más distinguidos entre otros, a: Antonio María Barriga Villalba, Luis Montoya Valenzuela, Jose Vicente Azcuenaga, Luis Enrique Gaviria Salazar, Bernardo Fajardo Pinzón y Alvaro Mondragón. La labor desarrollada está dando su fruto en la superación de la calidad de los productos nacionales de exportación, consecuencia de la toma de conciencia de la industria química. Además, mediante la Química Analítica enriquecemos cada vez más el conocimiento de nuestros recursos naturales ampliando el horizonte de sus aplicaciones.

## CONCLUSION

Sin lugar a duda podemos afirmar que en química no hay investigación que no incluya una fase analítica de laboratorio y por esta razón, encontramos una enorme producción mundial literaria que en una u otra forma está relacionada con el tema. Así, el lenguaje analítico ha dejado de ser dominio de unos pocos, pues se ha difundido ampliamente con el establecimiento de Normas de Análisis Químico por parte del ICONTEC.

Finalmente podemos ver que la Química Analítica a través de los tiempos ha recorrido un extenso camino: en su infancia seguía ciertas tendencias místicas que poco a poco se fueron volviendo más curiosas; al pasar el tiempo esta curiosidad le permitió explicar muchos fenómenos naturales convirtiéndola en gestora de la moderna ciencia química y en su madurez da su mano y su consejo para el mejor desarrollo y aprovechamiento de los recursos por parte de la humanidad.

Para terminar este viaje a través del tiempo en compañía del pensamiento analítico, quiero rendir un homenaje a los pioneros en este campo de la ciencia, quienes sin más medio que su ingenio y su voluntad debieron llegar a la verdad y sentar las bases para convertir el mito en ciencia.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Read S. "Por la Alquimia a la Química" - Aguilar, 1960.
- (2) J. of. Chem Ed. 32, 253 (1955)
- (3) " " " 37, 594 (1960)
- (4) " " " 38, 106 (1961)
- (5) " " " 39, 356 (1962)
- (6) " " " 37, 506 (1960)
- (7) " " " 39, 123, 644 (1962)
- (8) " " " 31, 413 (1964)
- (9) " " " 34, 502 (1957)
- (10) " " " 5, 785 (1928)
- (11) " " " 39, 264 (1962)
- (12) " " " 27, 4, 176 (1950)
- (13) " " " 26, 9, 491 (1949)
- (14) " " " 34, 331 (1957)
- (15) " " " 37, 625 (1960)
- (16) " " " 42, 388, 675 (1965)
- (17) " " " 39, 384, (1962)
- (18) " " " 27, 2, 68, (1950)
- (19) Lockeman, G. "Historia de la Química" Uteha, 1960.
- (20) J. Chem Ed. 26, 5, 242, (1949)
- (21) " " " 26, 10, 513, (1949)
- (22) " " " 41, 452, (1964)
- (23) " " " 38, 118, (1961)
- (24) " " " 31, 207, (1954)
- (25) " " " 32, 456, (1955)
- (26) " " " 39, 384, (1962)
- (27) " " " 42, 584, (1965)
- (28) " " " 34, 27, (1957)
- (29) " " " 26, 4, 203, (1949)
- (30) " " " 28, 194, (1951)
- (31) Skoog and West "Principles of Instrumental Analysis".
- (32) J. of. Chem Ed. 32, 456, (1955)
- (33) " " " 36, 5, 225, (1959)
- (34) " " " 36, 11, 555, (1959)
- (35) " " " 36, 4, 196, (1959)
- (36) Ramiro Osorio O. Historia de la Química en Colombia Inédito (1978).