

La moderna alquimia: la industria química

*Asdrúbal Valencia Giraldo**

(Recibido el 11 de mayo de 2001)

Resumen

Se hace un breve resumen de la evolución de la química desde la más remota antigüedad, pasando por la alquimia, la iatroquímica, la electroquímica, la teoría atómica y los descubrimientos de los siglos XVII, XVIII, XIX y XX, que desembocaron en la química moderna, en la química fina, la ingeniería química y la moderna industria química con todas sus consecuencias.

----- *Palabras clave:* química, alquimia, iatroquímica, flogisto, fisicoquímica, electroquímica, ingeniería química, industria química.

The modern alchemy: the chemical industry

Abstract

A brief history is presented on the development of chemistry from the antiquity, through alchemy, iatrochemistry, electrochemistry, atomic theory and the XVII, XVIII, XIX and XX centuries discoveries up to modern chemistry, fine chemistry, chemical engineering and the modern chemical industry with all of its consequences.

----- *Key words:* chemistry, alchemy, iatrochemistry, flogistum, physical chemistry, electrochemistry, chemical engineering, chemical industry.

* Profesor Departamento de Ingeniería de Materiales. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. avalen@udea.edu.co.

Introducción

El antepasado de la palabra *química* es *khemenia*, término al cual pueden atribuirse dos orígenes distintos. Podría derivarse del antiguo nombre de la región egipcia (Kham), en cuyo caso su significado sería “arte egipcio”. De hecho los egipcios tenían muchos y antiquísimos conocimientos sobre sustancias vegetales y minerales que, entre otras cosas, les permitían embalsamar de manera tan perfecta; o podría derivarse de una palabra griega cuyo significado es “jugo de planta” y entonces significaría “arte de extraer jugos” [1].

La química estudia los orígenes de cada sustancia, el modo como se forma, su composición y las transformaciones que experimenta, ya al entrar en contacto con otras sustancias con las cuales reacciona, ya por la acción de agentes físicos. Se distinguió así de la física, que considera las propiedades generales de la materia, sin tener en cuenta su naturaleza. Pero, modernamente, con los progresos de la física atómica, ambas ciencias se confunden en ciertos aspectos y dan lugar a una nueva disciplina, la fisicoquímica [2].

Aunque la industria química se puede describir simplemente como la industria que usa la química y manufactura productos químicos, esta definición está lejos de ser satisfactoria porque deja abierta la cuestión de qué es un producto químico. Las definiciones adoptadas para las estadísticas económicas varían de país en país. La Standard International Trade Classification, publicada por las Naciones Unidas, incluye los explosivos y las sustancias pirotécnicas entre los productos químicos, sin embargo, excluye las fibras sintéticas, aunque la obtención de las materias primas para tales fibras es tan química como cualquier rama de la manufactura.

El alcance de la industria química está en parte moldeado más por la costumbre que por la lógica. La industria petrolera se considera separada de la industria química porque en sus inicios en el siglo XIX el petróleo crudo se sometía

solamente a un tratamiento sencillo de destilación. Sin embargo, los modernos procesos industriales del petróleo, efectúan cambios químicos y algunos de los productos de una refinería son químicos por definición. El término petroquímico se usa para describir esas operaciones químicas, pero, debido a que se realizan en la misma planta que la destilación primaria, la distinción entre industria petrolera e industria química es difícil de mantener [3].

Lo mismo puede decirse de la distinción entre la industria metalúrgica y la industria química. Los metales se producen por métodos químicos, los minerales requieren métodos químicos de beneficio antes de refinarlos; el proceso de refinado también incluye reacciones químicas, sin embargo esta industria no se considera parte de la industria química.

Por las razones anteriores la industria petroquímica y la metalurgia extractiva o química, no entran en este resumen.

Aunque la industria química, tal como se concibe actualmente, comenzó en la segunda mitad del siglo XVIII, muchos procesos, conocidos desde la antigüedad, implicaban cambios químicos. Entre ellos se pueden mencionar el tinte, el curtido del cuero, la metalurgia, la cerámica y su vidriado, y la fabricación de vidrio. Estos procesos llegaron a un alto grado de perfección mucho antes de que la química tuviera bases científicas a finales del siglo XVII, lo cual sigue demostrando que la técnica puede llegar a niveles avanzados mucho antes de que se comprendan claramente los principios fundamentales en que se basan. Las primeras aplicaciones de los procesos químicos estuvieron relacionadas con la extracción y trabajado de los metales y la manufactura cerámica. Estas artes se realizaron sin ningún bagaje teórico, pero casi siempre con una gran habilidad, señal de una larga práctica y una sólida apreciación de las propiedades de los materiales [4].

Una revisión de las actividades industriales de las antiguas naciones muestra que las artes

técnicas del período clásico en Grecia y Roma, antes consideradas como la expresión espontánea de una civilización superior, son en realidad formas decadentes de artes practicadas muchos siglos antes en las culturas de la Edad de Bronce, en Egipto y Mesopotamia [5]. La irrupción de las razas que usaron el hierro en la cuenca del Mediterráneo, ocupada durante siglos por pueblos de gran cultura, que ocurrió alrededor de 1000 a. C. e introdujo la Edad de Hierro, fue

de muchas maneras una ruptura en la continuidad de la artesanía, pero muchas de las antiguas artes sobrevivían casi en sus formas originales. La alfarería, por ejemplo, todavía usaba casi los mismos materiales y artefactos que el hombre neolítico. En la tabla 1 se da una visión de la ocurrencia de materiales que requerían habilidad en química aplicada para su preparación, en varios períodos de las más antiguas civilizaciones occidentales.

Tabla 1 Materiales usados por las antiguas civilizaciones occidentales cuya obtención requería habilidad química [5]

<i>a. C.</i>	<i>Egipto</i>	<i>Mesopotamia</i>	<i>Egeos, etc.</i>
4000	PREDINÁSTICO: oro, plata, plomo, cobre, hierro, vidriado, vidrio	SUMERIO-ASIRIA: <i>Lagash, Kish, Ur.</i> oro, plata, plomo, cobre, bronce al estaño, vidriado, vidrio	—
3400	I DINASTÍA: bronce al estaño		
3000		Bronces al plomo, al antimonio, al estaño, antimonio metálico	MINOICO TEMPRANO: <i>Knossos:</i> cobre, oro, plata, plomo, bronce al estaño, vidriado, tinte púrpura
2000	XII DINASTÍA: estaño, herramientas de hierro	Mucho bronce al estaño	MINOICO TEMPRANO: <i>Micenas:</i> vidrio
1700-1500	XVIII DINASTÍA: mucho bronce al estaño, estaño, fábricas de vidrio, vidrio al cobalto, hierro útil, papiro de Ebers, medicina	Hierro útil, armas de acero, vidriado de óxido de estaño, vidrio al cobalto	LOS HITITAS: trabajo del hierro en la región del Mar Negro
1350-1200			Tirios: vidrio al plomo-cobre Palestinos: latón
1000	Industria del hierro en Nubia, hierro asirio común en Egipto	Hierro asirio común	LOS FENICIOS: comercio de estaño. EDAD DEL HIERRO: <i>Grecia clásica</i>
650		Tabletas químicas asirias imitación de gemas	

El apretado resumen que se hace a continuación es un intento de reseñar el desarrollo de las artes químicas desde los períodos iniciales hasta ahora. Hay que tener en cuenta que la química como ciencia exacta empezó en 1661 cuando Robert Boyle definió claramente qué es un elemento químico, sin embargo no puede decirse que existió una transición bien definida del empirismo a la ciencia. El desarrollo fue laborioso y lento, desde los artesanos primitivos, pasando por los alquimistas y los iatroquímicos, hasta llegar a los científicos del siglo XVII, siglo a partir del cual, ya sentada sobre bases científicas, la química tuvo un desarrollo acelerado y desde el siglo XVIII la ciencia originó el sector económico que es hoy la industria química.

Los orígenes de la química

En tiempos inmemoriales el hombre se percató de la mutabilidad de las cosas. Como ya se vio, él mismo fue artífice de muchas transformaciones, como la fabricación de ladrillos y de alfarería mediante la cocción de la arcilla, la extracción de metales a partir de los minerales o la obtención de tintes minerales y orgánicos. Sin embargo, sólo algunos pensadores se plantearon el problema de cómo y por qué sucedía eso. Los primeros de los que se tiene noticia son los filósofos griegos.

Al partir del hecho de que una sustancia pudiera transformarse en otra, los griegos derivaron la hipótesis de la existencia de una sustancia primordial que bajo numerosos y diferentes aspectos constituiría nuestro mundo. Esta es una hipótesis sugerente porque responde a la necesidad de generalización y de unificación, propia del pensamiento racional de los griegos.

Para Tales (624-545 a. C.) la sustancia base era el agua, tanto por su abundancia como porque sin ella la vida sería imposible. Para Anaxímenes (586-528 a. C.) el elemento básico era el aire, que cubre y llena el espacio entre la tierra y el cielo, y que comprimido da origen a materiales más densos: agua y tierra. Algunos años después Heráclito (550-480 a. C.) consideró al

fuego, tan dinámico y cambiante, como responsable de todas las transformaciones. Más tarde Empédocles (490-430 a. C.), de la escuela de Pitágoras, indeciso ante las alternativas que le ofrecían los filósofos anteriores, propuso una nueva solución al problema: en la base de la constitución del universo no hay un solo elemento sino cuatro: agua, aire, fuego y tierra, que combinados de diferentes formas producen todas las cosas.

La autoridad de Aristóteles sancionó esta doctrina por lo que respecta al mundo terrestre. Pero consideró que el firmamento, inmutable e incorruptible, estaba constituido por un quinto elemento no transformable: el "éter". De este quinto elemento queda todavía el término quintaesencia como expresión de perfección.

Las concepciones que soportan las definiciones de elementos y compuestos, aunque ahora son casi obvias, sólo se alcanzaron después de siglos de esfuerzos. Lo que actualmente se entiende por elemento químico es muy diferente. Sin embargo, se debe considerar como genial la intuición griega de una sustancia primordial de cuya transformación se deriva el mundo. Hoy la sustancia básica es el hidrógeno, que es el corazón de las estrellas y que da origen a los otros elementos. Así la química actual se funda en la teoría atómica, según la cual toda materia se halla constituida por átomos agrupados de uno o varios de los elementos conocidos, naturales y artificiales.

La alquimia

El problema relacionado con los elementos fue abandonado después de Aristóteles, cuyo pensamiento, como se sabe, domina el pensamiento occidental durante muchos siglos. La investigación teórica se detiene y, sin embargo, continúa la investigación práctica. En el mundo oriental, y mediante las invasiones árabes también en el occidental, ocurrieron diversos descubrimientos.

Los sucesores de los griegos en el estudio de la materia, los alquimistas medievales, aunque

sumergidos en la magia y la charlatanería, llegaron a conclusiones más razonables y verosímiles que las de aquéllos, ya que por lo menos manejaron los materiales sobre los que especulaban [6].

El término *alquimia* es simplemente la palabra griega de Alejandría *quêmeia* con el artículo definido árabe *al* como prefijo. Los tratados de Alejandría muestran que los alquimistas realmente querían hacer transmutaciones “cambiando el color” del plomo o el mercurio por medio de varios agentes químicos, y al cobre, que se tornaba blanco con el arsénico, se le consideró una especie de plata. Todo esto se cubrió en Europa de misterio y fraudes. El agente trasmutante fue llamado después por los árabes *aliksir* (elíxir) —tal vez del griego *ξεριον* (*xerion*) un polvo o cosmético— y por los alquimistas europeos *la piedra filosofal* o *tintura* (es decir, agente que cambiaba el color). La idea se basaba en los marcados efectos del arsénico, el mercurio y el azufre en cambiar el color de los metales, y fue bastante racional en aquel tiempo [7].

Tratando de explicar las diversas propiedades de las sustancias, los alquimistas atribuyeron tales propiedades a determinados elementos que añadieron a la lista de los griegos. Identificaron el mercurio como elemento que confería propiedades metálicas a las sustancias, y el azufre, como el que impartía la propiedad de la combustibilidad. Uno de los últimos alquimistas, el físico suizo del siglo XVI Theophrastus Bombast von Hohenheim —más conocido como Paracelso—, añadió la sal como elemento que daba a los cuerpos su resistencia al calor.

Según los alquimistas, una sustancia puede transformarse en otra simplemente añadiendo o sustrayendo elementos en las proporciones adecuadas. Un metal como el plomo, por ejemplo, podía transformarse en oro añadiéndole una cantidad exacta de mercurio. Durante siglos prosiguió la búsqueda de la técnica adecuada para convertir en oro un “metal base”. En este proceso, los alquimistas descubrieron sustancias mucho más importantes que el oro, como el alcohol,

los ácidos minerales, las sales metálicas y el fósforo [8].

A un alquimista desconocido se debe la introducción de la pólvora, inventada hacia el 250 d. C. por los chinos, que posteriormente describió y dio a conocer el estudioso inglés Roger Bacon (1212-1292). Esta invención revolucionó los métodos de defensa y ataque de los pueblos. Además de Bacon fueron alquimistas famosos Alberto Magno, Arnoldo de Villanova y Raimundo Lulio [9].

También en el siglo XIV los ácidos minerales —nitríco, clorhídrico y especialmente, sulfúrico— introdujeron una verdadera revolución en los experimentos de la alquimia. Estos eran ácidos mucho más fuertes que el más fuerte conocido hasta entonces (el ácido acético, o sea, el vinagre), y con ellos podían descomponerse las sustancias, sin necesidad de emplear altas temperaturas, ni recurrir a largos períodos de espera. Aún en la actualidad, los ácidos minerales, son muy importantes para la industria. El grado de industrialización de un país se puede juzgar por su consumo anual de ácido sulfúrico.

Sin embargo, pocos alquimistas se dejaron tentar por estos importantes éxitos secundarios.

La iatroquímica

En el siglo XVI surgió la escuela de los llamados iatroquímicos, es decir los químicos médicos, quienes intentaron aplicar la química a la preparación de medicinas y a la explicación de los procesos en el cuerpo viviente. Paracelso fue el fundador de esta secta, creía en la piedra filosofal y el elíxir de larga vida.

Paracelso (1493-1541) se graduó como médico en Ferrara y en 1527-1528 fue nombrado profesor de medicina en Basilea. Expulsado de allí, pasó el resto de su vida vagando por Europa. Se dice que su fama se debe a que era un buen cirujano y un médico competente, a su conocimiento del uso de los remedios metálicos, a sus maravillosas curas con opio y, especialmente, a

su uso de preparaciones de mercurio para curar nuevas enfermedades que resistían todos los remedios antiguos. Uno de sus biógrafos dice que “Esas cinco circunstancias concurrentes se llevan todo su mérito y fueron la materia de su gloria; el resto fue humo vacío y ociosa ostentación” [10].

En ese sentido Paracelso fue esencialmente un reformador de la medicina y sus contribuciones a la química no son impresionantes. Sus seguidores inmediatos, hicieron más precisas sus teorías y contribuyeron al acervo de nuevas preparaciones minerales, incluyendo Gerardo Orm, Oswaldo Croll, quien en su *Basilica Chymica* (1609) describe el cloruro de plata como *lunea cornea*, y Adriano Mynsicht, que describe el emético de tártaro (tartrato antimonil potasio, $K(SbO)C_4H_4O_6$).

Otro iatroquímico famoso fue Juan Bautista van Helmont (1579-1644) quien se graduó como médico en Lovaina en 1609. Una característica importante de su trabajo es su carácter cuantitativo, hizo uso extensivo de la balanza, expresó claramente la ley de la indestructibilidad de la materia e hizo énfasis en que los metales cuando se disolvían con ácidos no se destruían y podían recuperarse con medios adecuados. También se dio cuenta de que cuando un metal se precipitaba a otro de una solución de sal, no había transmutación como había pensado Paracelso. Además fue el primero que comprendió la producción de gases en varios procesos. Sus contribuciones fueron extensas en muchos campos [11].

Francisco Silvio de le Bøe (1614-1672), profesor de medicina en Leyden, construyó el primer laboratorio químico universitario. Georg Agrícola es más famoso por su *Re Metallica* que por ser iatroquímico, este libro fue uno de los primeros tratados sobre química aplicada: un trabajo más corto (*Pirotechia*, 1540) había sido escrito en italiano por Biringuccio: contiene indicaciones para fundir cañones y campanas.

Basil Valentino fue un monje benedictino cuyo trabajo más conocido es el *Carro triunfal del antimonio*, publicado por primera vez en alemán en 1604, en él se describe la preparación de muchos compuestos de antimonio. Otros nombres conocidos son los de Andreas Libavius (1540-1616), Johan Rudolph Glauber (1604-1670), Nicolás Lemery, Otto Tachenius y Johan Kunckel.

De todas formas, otros alquímicos menos escrupulosos dieron mala reputación a tal disciplina y la palabra alquimista fue abandonada. En el siglo XVII, el alquimista se había convertido en químico y alquimia había pasado a ser la ciencia llamada química.

El flogisto

La combustión y la calcinación de los metales fueron dos clases de cambio químico, que dependen de la misma causa, fueron investigados simultáneamente. Los alquimistas daban gran importancia a los efectos del calor sobre las sustancias, y en sus escritos describen muchos tipos de hornos y los experimentos hechos en ellos. Los metales, exceptuando el oro y la plata, cambiaban cuando se calentaban en crisoles abiertos y dejaban un residuo (dross) que fue llamado una *calx* (caliza): se notó en el siglo XVI que esta calx era más pesada que el metal original: las explicaciones eran que algún tipo de “ánima” escapaba del metal, o que la materia se hacía más densa, o que alguna clase de ácido era absorbida del fuego, o que el fuego poseía peso y era absorbido por el metal al formar la calx.

Los estudios posteriores de la combustión y la calcinación fueron hechos por Boyle, Hooke y Mayow, llamados los “químicos de Oxford”. Boyle introdujo la idea de elemento y en conjunto empezaron a dar explicaciones más generales a los fenómenos, así Jean Rey estableció que la formación de calx era debida a la unión del aire, en todo o en parte, con el metal, y que el aumento en peso era debido a esa unión.

Johann Joachim Becher (1635-1682) publicó en 1669 un libro llamado *Physica subterranea*, en el cual estableció que los componentes de los cuerpos eran el aire, el agua y tres tierras, una de las cuales es *inflamable (terra pinguis)*. La segunda *mercurial* y la tercera fusible o *vítrea*. Estas corresponden al azufre, el mercurio y la sal de los alquimistas. En la combustión, la “tierra gorda” se quema y se consume.

Georg Ernst Stahl (1660-1734) popularizó las teorías de Becher de una manera revisada. La *terra pinguis* de éste la rebautizó flogisto, que era “la materia y principio del fuego, no el fuego mismo”, que escapaba de los cuerpos que se quemaban con un movimiento rápido en vórtice, y era contenido por todos los cuerpos combustibles y también por los metales. El producto quemado podía restaurarse aplicando flogisto de un material que lo contuviera como aceite, cera, carbón de leña u hollín (que es casi flogisto puro).

El flogisto era un material, a veces la materia del fuego, a veces una sustancia seca y terrosa (hollín), a veces un principio grasoso (en el azufre, ácidos, grasas y resinas) y a veces partículas invisibles emitidas por una bujía que se quemaba. Se encontraba en los cuerpos animales, vegetales y minerales y era el mismo en todos. Se podía transferir de un cuerpo a otro. Era la causa de las propiedades metálicas, de los colores (como en hollín y el azul de Prusia), de los olores (como en los compuestos de azufre, los aceites esenciales, etc.). Las sales eran compuestos ácidos y bases. Las bases eran diferentes pero todos los ácidos eran modificaciones de un ácido universal: el sulfúrico. El ácido nítrico era un compuesto de ácido sulfúrico y flogisto. La fermentación era una combustión lenta. El alcohol era un compuesto de agua y flogisto; al quemarlo el flogisto escapaba y quedaba el agua.

Stahl invirtió la verdad de la combustión y la calcinación; añadir flogisto era realmente remover oxígeno y remover flogisto era añadir oxígeno.

Con el tiempo se propusieron varias modificaciones a la teoría del flogisto; Cavendish (1766)

sugirió que el aire inflamable (hidrógeno) era flogisto; Baumé (1777), que el principio inflamable está compuesto de la materia del fuego unida con una tierra en varias proporciones, y que los metales al calcinarse perdían flogisto y absorbían fuego puro o fuego menos cargado con el principio terroso. Así mismo hicieron sugerencias Macquer (1779), Scheffer (1757), Chardenon (1764), Guyton de Morveau (1772), Venel (1750), Gren (1786), Meyer (1790) y Hindenburg (1790).

Después de la fundación de la teoría de Lavoisier de la combustión del oxígeno, se hicieron intentos de retener algunas características de la teoría del flogisto para explicar el calor y la luz generados en la combustión. Esto sólo fue abandonado después de que se aceptó la idea de la energía, hacia 1850.

Descubrimiento de los gases

El descubrimiento de los gases y la investigación de sus propiedades sucedió tarde en el estudio de la química enturbiado por teorías como la del flogisto. Van Helmont, quien inventó la palabra gas, alrededor de 1630, y describió al menos dos de ellos —*el gas silvestre* (dióxido de carbono) y el *gas pingüe* (hidrógeno impuro o quizá gas de los pantanos)— tenía la opinión de que un gas no podía ser contenido en un recipiente. Robert Boyle fue probablemente el primero que almacenó un gas y también supo que el hidrógeno era inflamable.

Stephen Hales (1677-1761) intentó determinar la cantidad de “aire” que podía extraerse de varias sustancias calentando en un barril y recojiéndolo. Los distintos gases que recogió los llamó “aire”, el cual consideraba como un elemento, y llegó a la conclusión de que “el aire abunda en las sustancias, animales, vegetales y minerales”.

Joseph Black (1728-1799) mientras investigaba para su tesis en medicina entre 1752 y 1754 estaba buscando un solvente que disolviera los cálculos renales. Sabía que con soda cáustica podía hacerlo pero también disolvería la vejiga

del paciente, matándolo. Pensando en modificar su causticidad, empezó a investigar las propiedades de la cal viva y se encontró con un problema familiar en ese tiempo. Dos de sus profesores eran expertos en cal y tenían opiniones opuestas. Robert Whytt prefería la cal hecha de conchas de ostras, mientras que Charles Alston la prefería hecha de caliza. Con cualquier variedad que escogiera, Black corría el riesgo de ofender a alguno de ellos, así que astutamente escogió un material diferente pero a la vez similar, la *magnesia alba* (carbonato de magnesio o magnesita).

Trabajando con este material Black demostró que la pérdida de peso de los reactivos era el peso de un gas invisible que había escapado. En general se concluyó que cuando los productos de una reacción eran más pesados o más livianos que los reactivos, la clave de los inexplicables cambios de peso era la absorción o emisión de gases [12].

Los posteriores estudios de los gases realizados por Cavendish, Scheele y Priestly llevaron a la identificación de los gases individuales, empezando por el oxígeno, descubierto por estos dos últimos.

La teoría de Lavoisier

Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) no descubrió nuevas sustancias ni diseñó aparatos novedosos ni desarrolló nuevos métodos, era esencialmente un teórico que se basó en los experimentos de otros. Completó el trabajo de Black, Priestly y Cavendish y dio una explicación correcta de sus experimentos. Fue el primero en entender las consecuencias del descubrimiento del oxígeno, reconocer su naturaleza como elemento y con ingeniosos experimentos cuantitativos establecer la verdadera química de la combustión [13].

Lavoisier demostró que la combustión era la unión de la sustancia que se quemaba con el oxígeno (*air éminemment pur*). En 1777 resumió su teoría de la combustión en cuatro proposiciones:

1. En toda combustión se produce luz y calor.
2. Los cuerpos solamente se queman con oxígeno.
3. El oxígeno se consume en la combustión, y la ganancia en peso de la sustancia quemada es igual a la pérdida en peso que experimenta el aire.
4. Por el proceso de combustión la sustancia combustible normalmente se transforma en un ácido; sin embargo, los metales se calcinan.

Todo esto lo explicó aún más con lenguaje sencillo en 1789 en su *Traité de Élémentaire Chemie*, con lo cual la misteriosa e hipotética sustancia llamada flogisto, que no obedecía la ley de la gravitación, y cambiaba sus propiedades arbitrariamente como lo dictaban las determinaciones teóricas, fue expulsado de la ciencia y la ley de la conservación de la masa se impuso, generando un cambio conceptual que bien se denominó La Revolución de la Química.

Además, el trabajo de Lavoisier proporcionó una base teórica para el análisis cuantitativo, que fue mejorado por Vauquelin y Klaproth, antecesores de Calude Louis Berthollet (1748-1822), quien formuló la ley de las proporciones definidas.

La teoría atómica

La tendencia a relacionar todos los fenómenos químicos con los movimientos mecánicos de corpúsculos, átomos o últimas partículas es muy antigua y ayuda a visualizar procesos que serían difíciles de admitir sin ella. La teoría atómica fue enseñada hace miles de años en la India, no se sabe si la idea fue tomada prestada por los griegos o desarrollada independientemente por éstos. En todo caso fue adoptada y extendida y Demócrito (460-370 a. C.) enseñó que los átomos son duros, tienen forma, tamaño y posiblemente peso. Son tan pequeños que no se pueden ver y están en constante movimiento.

Estas ideas fueron adoptadas por Newton quien las aplicó a la física, pero nadie antes de 1800 se había dado cuenta de que estas mismas ideas podían desarrollarse de tal manera que darían explicación cuantitativa de la composición de todas las sustancias y sus reacciones. Esto es lo que los químicos entienden como teoría atómica y su descubridor fue John Dalton (1766-1844).

La teoría atómica de Dalton, como dice Lothar Meyer, es tan sencilla que “a primera vista no es iluminante”. Ella dice que:

1. Los elementos químicos están compuestos de partículas de materia muy pequeñas e indivisibles, llamadas átomos, que conservan su individualidad en todos los cambios químicos.
2. Todos los átomos del mismo elemento son idénticos en todos los aspectos, particularmente en su peso. Los diferentes elementos tienen átomos que se diferencian en el peso. Cada elemento está caracterizado por el peso de su átomo.
3. La combinación química ocurre por la unión de átomos de los elementos en relaciones numéricas simples, por ejemplo, 1 átomo de A + 1 átomo de B ; 1 átomo de A + 2 átomos de B ; 2 átomos de A + 1 átomo de B ; 2 átomos de A + 3 átomos de B , etc.

Esto fue establecido por Dalton en 1803 y pronto fue adoptado de manera entusiasta por Thomas Thomsom (1773-1852) quien la publicó en 1807 en la tercera edición de su *System of Chemistry*.

Amedeo Avogadro le dio forma definitiva y desde entonces se convirtió en una poderosa teoría para explicar la química.

La electroquímica

En tanto que Dalton hacía sus contribuciones a la química pura, los científicos italianos estaban estudiando las manifestaciones de una nueva forma de energía. Esta era la electricidad

galvánica —hasta entonces había pasado desapercibida— pero desde entonces iba a influir no sólo sobre la química sino todas las manifestaciones de la vida. Los descubrimientos de Luigi Galvani (1737-1798) y Alessandro Volta (1745-1827) llevaron a la electrólisis y a la conexión entre la electricidad y la química. Esto fue extendido y sistematizado por Humphry Davy (1778-1829) y Jöns Jacob Berzelius (1779-1783).

En 1807 Davy anunció la descomposición de los álcalis por la electricidad y demostró que el montaje de Volta consistente en dos metales y un líquido podía ser reemplazado por un metal y dos líquidos. De dos metales, el que tenga mayor afinidad por el oxígeno forma el polo positivo en el líquido. La electrificación modifica “los poderes químicos” de la materia, y en un pasaje de la memoria de 1806 Davy sugiere que las medidas de fuerza electromotriz pueden servir para determinar las afinidades químicas, como se sabe que ocurre.

Cuando Davy trabajaba en Londres, apareció un artículo, en 1803, con la autoría de Berzelius y Hisinger, que describía los experimentos, hechos en Estocolmo, sobre la electrólisis y establecía las siguientes conclusiones:

1. Los compuestos químicos son descompuestos por la corriente eléctrica y sus componentes se reúnen en los polos.
2. Los cuerpos combustibles (hidrógeno), álcalis y tierras y metales, van al polo negativo; el oxígeno, los ácidos y los compuestos oxidados van al polo positivo.
3. La extensión de la descomposición está en proporción compuesta a las afinidades y la superficie de los polos. Es proporcional a la cantidad de electricidad y a la conductividad eléctrica (esto fue modificado por Faraday).
4. Los cambios químicos en la descomposición dependen, primero que todo, de las afinidades de los componentes por los polos (metales) y, segundo, de las afinidades de los

componentes entre sí, y tercero de la cohesión de los compuestos formados.

En esos años Sir Humphrey Davy era el químico inglés de más prestigio. Había descubierto el arco voltaico y, aplicando la electroquímica, ocho elementos nuevos. Gran divulgador y conferenciante, cierto día recibió en su domicilio una extensa y cuidadosa recopilación de sus últimas charlas en la Royal Society. El autor de estas notas era un joven aprendiz de encuadernador que estaba muy interesado en temas científicos. A Davy le agradó aquel trabajo y le ofreció un puesto de ayudante. Sir Humphrey no sabía que acababa de hacer el mayor descubrimiento de su vida, porque aquel muchacho se llamaba Michael Faraday (1791-1867) [14].

Muchos de los trabajos de Faraday están en el dominio de la física y fueron de fundamental importancia, como la inducción electromagnética y la capacidad inductiva específica. En el aspecto químico su trabajo más importante es el de la electrólisis (1832-1833). Demostró que la cantidad de descomposición era proporcional a la fuerza de la corriente y el tiempo, es decir a la cantidad de electricidad que pasaba y que los pesos de las sustancias depositadas por la misma corriente estaban en proporción a sus pesos químicos equivalentes [15].

Con los trabajos de Faraday y Berzelius la electroquímica quedó establecida como una importante rama del conocimiento.

La química orgánica

Hacia 1800 la química orgánica estaba en un estado relativamente primitivo. Nadie podía explicar cómo se diferenciaban los compuestos químicos orgánicos de los inorgánicos. Algunos creían que las sustancias orgánicas necesitaban una "fuerza vital" y no se podían hacer en el laboratorio. Los pocos compuestos orgánicos conocidos eran productos naturales como ceras, grasas, aceites, acetonas, azúcares, urea oxálica, urea y alcohol. El primer paso era purificar y

analizar los compuestos orgánicos disponibles y ver que tenían en común. Entonces, tal vez, se podrían hacer algunas generalizaciones.

Los primeros estudios sistemáticos de la composición orgánica fueron reportados por Lavoisier, quien basado en sus estudios y los de Berthollet definió las sustancias químicas como combinaciones de oxígeno con radicales que contenían carbono e hidrógeno. Si el compuesto era de origen animal, también contenía nitrógeno y fósforo. Una mejora de las determinaciones de Lavoisier fue hecha por Gay-Lussac y Louis Thenard en 1810. Berzelius refinó aún más los procedimientos en cuanto a precisión y analizó miles de compuestos nuevos que apenas empezaban a aparecer. Los químicos iban a tientas tratando de entender la química orgánica. Pero había obstáculos. Lavoisier no explicó que eran radicales, durante algún tiempo los químicos pensaron que las ceras y los aceites no contenían oxígeno y que podían ser tales radicales, lo cual fue desvirtuado por Michael Eugène Chevreul (1786-1889).

El trabajo más conocido de Chevreul se publicó en 1823, *Recherche chimique sur les corps gras d'origine animale*. Hasta entonces los químicos pensaban que los jabones eran compuestos de grasa álcali, aunque Scheele había estudiado el glicerol en 1783. Chevreul preparó estearina y oleína y aisló dos ácidos a los que llamó esteárico y oleico. En sus escritos se encontró la primera teoría científica precisa sobre el proceso de saponificación y su explicación de la química de las grasas y los aceites era notablemente clara. Como resultado de sus estudios, Chevreul colocó en el mercado las velas de estearina, reemplazando las poco agradables velas de sebo.

Otro gran pionero de la química orgánica fue Friedrich Wöhler (1800-1882) aunque en otros campos descubrió el aluminio en 1827 y trabajó con boro silicio y titanio. En la química orgánica sentó las bases del estudio de los cianatos y el ácido úrico.

Sin embargo el gran nombre en la química orgánica es Justus Liebig (1803-1873) quien perfeccionó el análisis orgánico y llevó a cabo una prodigiosa cantidad de trabajo. Además de su trabajo puramente científico, Liebig también prestó importantes servicios a la química agrícola introduciendo el uso de fertilizantes minerales, y su trabajo en la fisiología química sobre la producción de grasa, la naturaleza de la sangre y la bilis, fue útil y estimulante.

El desarrollo posterior de la química orgánica pasa por nombres como el de Louis Pasteur (1822-1895), Jacobus Henricus van't Hoff (1862-1911), Adolf Baeyer (1835-1917), Emil Fischer (1852-1919), Víctor Meyer (1848-1897) y toda una pléyade de nombres que hicieron descubrimientos particulares como el de Friedrich August Kekulé (1829-1896), quien estableció claramente la valencia del carbono y el anillo bencénico [16].

La tabla periódica

Los intentos por hallar orden en las propiedades de los elementos culminaron con la tabla periódica de los elementos, publicada por primera vez en 1869 por Dmitri Mendeleev (1834-1907). Lothar Meyer (1830-1895) llegó a las mismas conclusiones, pero no las publicó hasta 1870. Como muchos otros, Mendeleev notó que parecía haber grupos o familias de elementos con propiedades físicas y químicas similares. Notó también que acomodando los átomos en orden creciente de peso, había una repetición periódica de las propiedades. A diferencia de sus predecesores, ignoró las relaciones numéricas y se concentró en idear una tabla que mostrara gráficamente las relaciones de grupos y períodos. Así llegó a las columnas de átomos organizados de izquierda a derecha en orden creciente de peso, y de arriba hacia abajo en grupos que reflejaban las propiedades físicas y químicas. De las posiciones en la tabla se podían deducir las propiedades de los elementos e incluso predecir las fórmulas de sus compuestos binarios. La tabla periódica es probablemente el resumen de información más útil de toda la química.

Útil o no, el trabajo de Mendeleev no fue aceptado inmediatamente. Los químicos prestaron poca atención a sus escritos o los de Meyer. Sin embargo, Mendeleev, había hecho algunas predicciones sumamente arriesgadas, varias de las cuales se tornaron ciertas (algunas también fueron equivocadas, pero se han olvidado o perdonado). Al estudiar su tabla, notó tres lugares donde parecían faltar tres elementos debajo del boro. Para él, significaba que esos elementos no habían sido descubiertos, les dio nombres provisionales, y en 1871, a partir de su posición en la tabla predijo sus propiedades, incluyendo la valencia, el color, el peso atómico y la densidad. En 1875 fue descubierto uno de esos elementos, el galio, que él había denominado ecaluminio, que significa debajo del aluminio. Su peso atómico y propiedades eran muy similares a las predichas. Esta vez los químicos sí pusieron atención. En 1879 se descubrió el escandio (ecaboro) y en 1886 el germanio (ecasilicio), con las propiedades predichas. Desde entonces, el sistema periódico recibió total aceptación [17].

La fisicoquímica

Thomas Graham (1805-1869) trató de medir la tasa de difusión de los gases. Para ello estudió los gases difundidos a través de un cilindro de yeso, unos tubos finos y un pequeño orificio en una placa de platino.

En 1831 estuvo listo para anunciar que la cantidad difundida de un gas es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su peso molecular. Así, puesto que las moléculas de oxígeno tienen dieciséis veces más masa que las de hidrógeno, y la raíz cuadrada de dieciséis es cuatro, las más ligeras moléculas de hidrógeno se difundirán cuatro veces más de prisa que las de oxígeno. Esta sigue llamándose ley de Graham, y debido a este descubrimiento a Graham se le considera uno de los fundadores de la fisicoquímica.

Lo anterior es cierto, aunque ya otros predecesores habían sentado las bases, especialmente Mijail Vasilevich Lomonosov (1711-1765) a quien se puede considerar el primer fisicoquímico, pues

él miraba la química desde el punto de vista de la física y las matemáticas; pero sus ideas estuvieron adelantadas por lo menos cien años. Fue Lomonosov quien acuñó el término fisicoquímica así como la definición de ésta “como la ciencia que explica, sobre la base de los hechos y los experimentos de la física, aquello que transcurre en los cuerpos mixtos en las operaciones químicas”. Esta definición se aproxima a la actual.

La fisicoquímica estudia la interrelación de los fenómenos químicos y físicos, pues las reacciones químicas siempre están ligadas a procesos físicos variados: termoconducción, absorción o emisión de ondas electromagnéticas (luz), fenómenos eléctricos, cambios de volumen y de estado, etc. En todos los casos se tiene una íntima relación entre los fenómenos físicos y químicos, la acción recíproca de los mismos. Así los principales campos de estudio de la fisicoquímica son: la estructura de la materia, la termodinámica química, la teoría de soluciones, la teoría de los fenómenos superficiales, la electroquímica, la cinética química, la catálisis y la fotoquímica.

Por las razones anteriores, aunque la fisicoquímica sólo surgió como ciencia independiente en el siglo XIX y tal término no se usó antes, muchos físicos y químicos eminentes efectuaron investigaciones, las cuales corresponde referirlas a la fisicoquímica, en la forma definida actualmente. Como resultado de estas investigaciones, se hicieron muchos descubrimientos y generalizaciones importantes. Se puede señalar el descubrimiento de la adsorción de los gases (Scheele en Suecia, 1773 y Fontana en Italia, 1777) y de la adsorción de las soluciones (Lovitz, Rusia, 1785), el descubrimiento de las reacciones catalíticas a principios del siglo XIX hecho por Day y Thenard y la determinación de la noción de catálisis hecha por Berzelius (1835), así como las bases electroquímicas debidas a Galván, Volta y Faraday, lo mismo que la termoquímica comenzando por Lavoisier que llevó a la ley de la constancia de la suma de calores (ley de Hess, 1840).

Para el desarrollo de la fisicoquímica tuvo gran importancia el descubrimiento de las leyes de la termodinámica a mediados del siglo XIX (Carnot, Mayer, Helmholtz, Clausius, Thomson).

La cantidad y variedad de las investigaciones, que se encuentran en la zona limítrofe entre la física y la química, creció continuamente a mediados y en el tercer cuarto del siglo XIX. Se desarrolló la teoría termodinámica del equilibrio (Guldberg y Waage, Gibbs). Las investigaciones de Wilhelmy dieron comienzo al estudio de las velocidades de las reacciones químicas. Fue investigada la conducción de la electricidad en las soluciones (Hittorf, Kohlrausch); se estudiaron las leyes del equilibrio de las soluciones con vapor (Raoult, Henry, Konoválov) y se desarrolló la teoría de las soluciones (Hildebrand).

La actividad de V. Ostwald tuvo una gran importancia en la cristalización de la fisicoquímica como disciplina especial de enseñanza, pues en 1887 instituyó la cátedra en la universidad de Leipzig. A fines del siglo XIX, la Universidad de Leipzig era el centro del desarrollo de la fisicoquímica y los fisicoquímicos más destacados eran Ostwald, Van't Hoff, Arrhenius y Nernst. En ese tiempo se definieron ya tres especializaciones de la fisicoquímica: la termodinámica química, la cinética química y la electroquímica [18].

Resulta imposible reseñar toda la trayectoria de la fisicoquímica en los siglos XX y XXI, pero sí en el siglo XIX era característico el estudio de las propiedades de las sustancias, sin la consideración de la estructura y propiedades de las moléculas, así como la aplicación de la termodinámica como método teórico fundamental, en el siglo XX pasaron a primer plano las investigaciones de las estructuras de las moléculas y cristales y la aplicación de nuevos métodos teóricos.

Con base en los éxitos más importantes de la física en el campo de la estructura del átomo y aplicando los métodos teóricos de la mecánica cuántica y de la mecánica estadística, así como de los nuevos métodos experimentales (análisis

radiológico, espectroscopia, espectroscopia de masas, microscopía electrónica, métodos magnéticos y otros), los físicos y los fisicoquímicos consiguieron grandes éxitos en el estudio de la estructura de moléculas y cristales, en el conocimiento de la naturaleza del enlace químico y de las leyes que lo rigen.

Obtuvo un gran desarrollo la cinética química, la cual se liga a las investigaciones de la estructura de las moléculas y la estabilidad de los enlaces entre los átomos en la molécula. Aparecen y se desarrollan nuevas ramas de la fisicoquímica (magnetoquímica, química de la radiación, fisicoquímica de los polímeros macromoleculares, electroquímica gaseosa, etc.)

La moderna alquimia

En 1896, Antoine Henri Becquerel (1852-1908) descubrió las radiaciones emitidas por el sulfato potásico de uranio. La química francesa de origen polaco Marie Sklodowska Curie (1867-1934), esposa del químico Pierre Curie (1859-1906), fue de las primeras que acogieron tal descubrimiento y quien demostró que la intensidad de la radiación emitida por varios compuestos de uranio guardaba proporción con la cantidad de uranio presente, o sea que no provenía del compuesto como un todo sino del átomo de uranio, era un fenómeno atómico no molecular.

Las radiaciones emitidas por el uranio no eran de una sola clase. Algunas experimentaban una ligera desviación en un sentido, que indicaba que estaban positivamente cargadas. Otras se desviaban de manera más brusca en dirección opuesta y llevaban carga negativa. Ambas debían consistir en flujos de partículas, y las primeras tenían a todas luces una masa mayor.

El físico Ernest Rutherford (1871-1937) advirtió ese fenómeno en 1897. Llamó a la radiación de más elevada masa y positivamente cargada *rayos alfa*, y a la de masa más ligera y con carga negativa *rayos beta*, nombres que se han conservado desde entonces. Pronto se encontró que estos rayos eran emitidos por otras sustancias a

las que se denominó radiactivas, porque el radio era muy activo en este sentido.

La elevada energía de los rayos alfa llevó a la esperanza de que bombardeando otros átomos con ellos podrían partirse y producir otros elementos menos pesados. Se pensó que el cobre había sido transformado en litio de esta manera pero este y otros cambios similares demostraron ser ilusorios. La primera transmutación de un elemento en otro fue efectuada por Rutherford (1919), quien mostró que cuando los átomos de nitrógeno se bombardeaban con partículas alfa, emitían núcleos de hidrógeno o protones. Entonces Blackett (1922) reconoció que el cambio ocurría porque la partícula alfa entraba al núcleo del nitrógeno, y como la carga nuclear se eleva de 7 a 9 se forma un isótopo del flúor. Este emite un protón dejando un núcleo de carga 8, un isótopo del oxígeno. En otros cambios nucleares, llevados a cabo por colisión con partículas alfa, núcleos de hidrógeno o deuterio, o neutrones, puede haber emisión de núcleos de hidrógeno (protones), neutrones o partículas alfa.

Un nuevo tipo de cambio fue observado por primera vez por Joliot e Irene Curie en 1934. En este el núcleo inestable por absorción de una partícula emite un positrón, una partícula con la misma masa que el electrón pero con carga positiva. Los elementos radiactivos naturales emiten rayos beta o electrones pero nunca positrones. En este tipo de cambio se produjeron muchos isótopos que de otra manera no se conocerían, por ejemplo, fósforo radiactivo bombardeando aluminio con partículas alfa. Este isótopo del fósforo emite un electrón y deja un isótopo radiactivo del silicio.

El número de elementos artificiales se ha elevado a grandes proporciones. Algunos elementos desconocidos en la naturaleza se han obtenido para llenar los vacíos en la tabla periódica con números atómicos 43 (tecnecio), 85 (astato) y 87 (francio); esos lugares permanecían vacíos hasta el descubrimiento de los elementos artificiales. El descubrimiento más espectacular fue

el de los elementos con peso atómico superior al del uranio (que no se conocían en la tabla periódica), los llamados transuránicos, que son todos radiactivos.

El uranio natural contiene isótopos de masas 235 y 238, la mayoría 238. Cuando el uranio 238 es bombardeado con neutrones forma un elemento de número atómico 93 que es el neptunio. De la emisión de un rayo beta del neptunio se forma el elemento número 94, el plutonio. El bombardeo del uranio 238 y el plutonio con núcleos de helio acelerados artificialmente (en vez de rayos alfa naturales) da dos elementos de números atómicos 95 (americio) y 96 (curio), y continuando el proceso, se forman los elementos de número atómico 97 (berkelio), 98 (californio) y así hasta los más de 120 elementos que existen.

El bombardeo con neutrones del isótopo 235 de uranio produce su fisión. En este proceso se liberan más neutrones y el cambio puede llegar a ser una reacción en cadena con enorme liberación de energía (de acuerdo con la fórmula de Einstein $E = mc^2$). Este es el principio de la bomba atómica y de la producción de energía nuclear. La fusión de protones y neutrones para formar núcleos de helio a las enormes temperaturas de la explosión de una bomba atómica es el principio de la bomba de hidrógeno.

El sueño de los alquimistas se alcanzó con la producción artificial de oro a partir de mercurio por Sherr, Bainbridge y Anderson (1941); pero la producción reversa de mercurio a partir de oro es de más interés práctico, pues este mercurio contiene una sola clase de isótopo y es más adecuado para la producción de líneas espectrales patrones.

La industria química moderna

Se ha señalado como, desde la prehistoria, la química ha estado respondiendo a las necesidades del hombre y ya hacia el año mil, cuando se aceleró el avance tecnológico, se desarrollaron nuevos materiales como el vidrio que fue

mejorado y como resultado aparecieron las gafas y el alcohol. Este último, se conocía desde hacía tiempo, la palabra es árabe (*al kuhul*) que significa extracción, pero su destilación y purificación se perfeccionaron en Europa hacia 1167 en Salerno. Se mencionó cómo los alquimistas descubrieron los ácidos minerales y su aplicación en el análisis de minerales. Mucho más importante que el ácido nítrico es el salitre (o sal potásica), ya que es —junto con el azufre y el carbón vegetal— un ingrediente esencial para la pólvora. La industria textil ya estaba asociada con la química en los sistemas de blanqueo de las fibras, en la producción de jabones y en el desarrollo y aplicación de tintes.

Al final del período medieval, la producción agrícola e industrial y el volumen y complejidad del comercio habían crecido a niveles muchas veces mayores a los del Imperio Romano, así la necesidad de productos químicos se expandió y los procesos químicos empezaron a realizarse en grande escala, como fue el caso de la industria del vestido.

Como consecuencia de lo anterior el uso del alumbre para el teñido se incrementó y su comercio fue incluso un monopolio papal. Con el aumento de la población, el aumento de la tierra de labor y la deforestación, la leña se hizo escasa, de modo que después de 1200 empezó la búsqueda de sustitutos para la madera y para calentar se popularizó la hulla [19].

Ya en la edad moderna la población de Europa seguía creciendo, en el siglo XVII había menos guerras y la plaga era menos severa, en parte porque la gente se alimentaba mejor y era más resistente, pero sobre todo porque había menos contacto con la rata negra, portadora de la pulga cuya picadura transmitía la plaga. Esto se debía a las mejores viviendas y a que la rata negra era vencida por la rata noruega café. Además había llegado la papa de América y los niveles de vida mejoraban. Esto aumentó la demanda de jabón y por tanto de álcalis necesarios para producir éste y el vidrio. De la misma manera se incrementó

el uso de la cerámica y los largos viajes de los barcos hicieron necesarios mejores barnices, pinturas, breas, inhibidores de corrosión y calafates. Una emergente química agrícola empezaba a producir fertilizantes químicos y productos químicos para el tratamiento del suelo.

Utensilios y vajillas, botones y hebillas estañados eran necesarios y para su producción se requería limpiar las superficies con decapado ácido. El ácido sulfúrico se producía a mayor escala quemando azufre en una campana de vidrio en presencia de salitre. Hacia mediados del siglo XVIII la demanda de ácido sulfúrico era tan grande que en Inglaterra empezó a producirse en enormes tanques recubiertos de plomo. A fines del siglo el ácido había sido reemplazado por el agua clorada en el blanqueo de textiles, esto desarrolló una industria química en gran escala para obtener cloro e hipoclorito.

El siglo XIX fue testigo de un crecimiento espectacular en la industria química tanto en extensión como en el número de sus productos. Hay tres aspectos de especial importancia, el primero fue un nuevo proceso para producir sosa por vía húmeda; el segundo fue el desarrollo de la industria química orgánica para la fabricación de productos sintéticos, a partir del descubrimiento por W. H. Perkin del primer colorante sintético en 1856; el tercero fue el progreso de la industria electroquímica.

Además de los anteriores desarrollos ocurría otro igualmente importante en la fabricación de explosivos. Hasta la mitad del siglo XIX prácticamente el único explosivo importante era la pólvora. Entonces F. S. Schönbein descubrió que si se trata la celulosa con ácido nítrico se obtiene un producto altamente inflamable y explosivo. Además A. Sobrero, un químico italiano, había descubierto la nitroglicerina en 1846. Fue Alfred Nobel el primero que demostró que la nitroglicerina podía ser menos peligrosa absorbiéndola en un tipo de arcilla conocido como *kielsegur*, a este producto se le llamó dinamita.

También a finales del siglo XIX se desarrolló una nueva e importante aplicación del ácido sulfúrico en la producción del superfosfato. Éste es uno de los más importantes abonos y se logra tratando huesos o fosfato mineral con el mencionado ácido. El superfosfato es un medio conveniente de suministrar a las plantas fósforo, uno de los elementos esenciales para su crecimiento. Sin embargo, no son menos importantes el nitrógeno y el potasio. Hoy en día, la mayoría de los abonos nitrogenados derivan de la fijación de nitrógeno del aire, pero hasta final del siglo XIX la fuente principal era el nitrato sódico mineral proveniente de Chile [20].

El desarrollo de la industria de los abonos de potasio llevó a la necesidad de extraer las sales de potasio en las conocidas salinas de Stassfurt (Alemania), que son yacimientos de complejas mezclas de muchas sales. Esto, a su vez, provocó una serie de investigaciones sobre la solubilidad en los sistemas agua-sal y la elaboración de la teoría de los equilibrios heterogéneos (Van't Hoff).

Las necesidades de la industria de síntesis inorgánica en desarrollo, llevaron, a fines del siglo XIX y principios del siglo XX, al desarrollo de la termodinámica química y su aplicación a las reacciones gaseosas (síntesis del amoníaco).

En 1855 el químico británico Alexander Parkes (1813-1890) descubrió que si la piroxilina (una celulosa nitrogenada) se disolvía en alcohol y éter en los que hubiera disuelto alcanfor, producía por evaporación un pesado sólido que podía ablandarse y era maleable al calor. No le halló aplicación comercial alguna, pero acababa de descubrir el primer plástico sintético.

Una sustancia es plástica cuando permite ser moldeada o conformada con relativa facilidad. En este sentido la arcilla, el yeso, el caucho y el vidrio son plásticos. Sin embargo, en nuestros días, la palabra *plástico* ha pasado a designar un grupo de sustancias sintéticas que poseen

propiedades plásticas. La piroxilina no tenía aplicación, pero se ofreció un premio de 10.000 dólares a quien inventara una sustancia más barata que el marfil, adecuada para fabricar bolas de billar.

John Wesley Hyatt había oído hablar de la piroxilina y perfeccionó el método de Parkes para obtenerla y en 1869 patentó un sistema para fabricar bolas de billar a partir de este material, que llamó celuloide. No ganó el premio, pero el celuloide se comercializó para sonajeros, cuellos postizos, películas fotográficas y fue el primer plástico ampliamente conocido, pero no llegó precisamente a invadir el mercado y debieron pasar cuarenta años para que ello ocurriera.

El verdadero comienzo de la era de los plásticos lo marcaron los trabajos del químico Leo Hendrik Baekeland (1863-1944) quien observó que a menudo ocurría en química orgánica que los residuos endurecidos quedaban depositados en el equipo de laboratorio, obligando a sustituirlo. Baekeland trató de hallar algún disolvente que desprendiera aquellos residuos, y con este fin hizo reaccionar fenol con formaldehído para formar uno de estos residuos; entonces se dedicó a buscar el disolvente. Pero no pudo hallarlo.

Se le ocurrió que si el residuo era tan resistente a los disolventes, debería tener alguna aplicación útil, dado que se trataba de un material inerte, fuerte y barato. Así pues, se concentró en la formación de la masa resinosa de manera cada vez más eficaz, haciéndola más dura y resistente. Utilizando el calor y la presión adecuados, obtuvo un líquido que se solidificaba y tomaba la forma del recipiente que lo contenía. Una vez en estado sólido era duro, impermeable, inatacable por los disolventes y aislante eléctrico. En cambio podía cortarse y maquinarse.

En 1909 sacó al mercado esta sustancia que llamó bakelite derivándolo de su nombre, baquelita en español. La baquelita fue el primero de los plásticos termorresistentes, o sea los que no se ablandan con el calor y así empezó el moderno desarrollo de los plásticos y cauchos sintéticos.

El plástico permitió el desarrollo de las fibras artificiales. El químico francés L.- M.- H. Bernigaud de Chardonnet (1839-1924) había empezado unos cinco años antes a producir fibras forzando soluciones nitrocelulosas a través de diminutos orificios, y dejando evaporar el disolvente. Perfeccionó el proceso en 1883, y se encontró con que obtenía una fibra muy parecida a la seda en finura y brillo. La llamó rayón (de la palabra francesa que significa rayo, luz) debido a su brillo. El nylon fue el resultado de las investigaciones de Wallace Hume Carothers (1896-1937) quien trabajaba para la Dupont y encontró, en 1931, una fibra compuesta de poliamidas de elevado peso molecular la cual demostró ser aún más fuerte que la seda. Con el tiempo se llamó nylon y llegaría a reemplazar en gran medida a la seda. Siguió luego otras fibras que transformaron la industria textil [21].

La contribución de la química a la medicina también fue central, una tradición que se remonta a la iatroquímica y mucho antes. El yodo, como el bromo, era necesario para la industria fotográfica y para la fabricación de colorantes, pero otro uso importante fue como antiséptico. El yodoformo fabricado por primera vez en 1822, apareció como antiséptico en 1878. Los anestésicos datan desde 1799 cuando Davy descubrió que el óxido nitroso aliviaba el dolor. Se utilizó en odontología desde 1844; conocido como "gotas de Hoffman", el éter se empleó por primera vez como anestésico en 1842 y poco después el cloroformo en 1847. Los compuestos alcaloides se aislaron de las plantas. La narcotina se obtuvo del opio en 1803 y la morfina en 1806, la emetina y la estriquina en 1817, la brucina y la piperina en 1819, la quinina en 1820, la nicotina en 1828, la atropina en 1833, la cocaína en 1860 y la fisostigmina en 1867. El aislamiento de estos compuestos permitió el conocimiento de su estructura química lo que llevó a su síntesis y el descubrimiento de compuestos relacionados muy valiosos.

En 1875 se descubrió que las sales del ácido salicílico servía como remedio para la fiebre. En

el año 1879 empezó el uso de la sacarina. En 1899 se introdujo la aspirina como droga antipirética-analgésica y el acetaminofén en 1956. El sulfonal hinóptico se descubrió en 1888, seguido pocos años después por el fenobarbital; este último llevó a la creación de toda una serie de barbitúricos.

La cocaína era el único anestésico local conocido hasta 1900, cuando se introdujo la benzocaína, que es un compuesto más simple, y luego la procaína. La lista de las drogas sintéticas desarrolladas en el siglo XX es tan larga como los logros de la química farmacéutica.

Así pues, hacia principios del siglo XX ya tenía gran importancia la ingeniería química. Las necesidades de la industria petrolera fueron la principal razón para el desarrollo de esa profesión. Un rasgo singular de la industria química fue el gran número de químicos con titulación universitaria a los que daba empleo. Así ocurrió en todos los países económicamente avanzados, sobre todo en Alemania. Las universidades alemanas estaban bien dotadas con departamentos de química y el profesorado incluía a muchos de los nombres mejor conocidos en esa disciplina. En la mayoría de las universidades, los departamentos de química eran los mayores en cuanto a personal, y así siguió siendo, más o menos, hasta 1940-1945, cuando la física comenzó a competir con la química y, en algunos casos, a tomarle delantera.

En Colombia los estudios de química se dieron desde la colonia, continuaron en el siglo XIX y se consolidaron con la fundación de escuelas de química e ingeniería química en los decenios de 1930 y 1940 [22].

Lo hecho por la química en el siglo XX, en todos los campos es imposible de reseñar lo siquiera en este trabajo: los nuevos materiales, la sangre artificial, los adhesivos milagrosos, los alimentos, todo tipo de sustancias prodigiosas. Sin embargo, todas las maravillas de la química no pueden hacer olvidar las miserias de la guerra química,

cuyo uso significativo empezó en la Primera Guerra Mundial con los gases venenosos, los cuales fueron proscritos por el Protocolo de Ginebra en 1925, pero que resurgieron más letales en la Segunda Guerra Mundial incluido el NAPALM usado en la guerra de Vietnam.

En la actualidad la informática ha transformado el estudio de la química. Los estudiantes de bachillerato realizan operaciones matemáticas más allá de las posibilidades de los químicos más grandes del siglo XIX. Los técnicos realizan operaciones rutinarias que eran imposibles en 1900.

El énfasis de la investigación se ha desplazado de las formas de pequeñas moléculas a las formas de pequeñas regiones subatómicas en las cuales se pueden ubicar más probablemente los electrones y a las formas de moléculas que contienen miles de átomos. Las descripciones verbales han dado paso a las ecuaciones, y mientras más aproximadas sean las ecuaciones a los resultados experimentales más se apartan aquellas de lo que es el sentido común. En los cursos introductorios de la universidad los estudiantes empiezan el estudio de la química, no con la descripción de sustancias y reacciones sino aprendiendo las ecuaciones diferenciales de Schrödinger, las formas de los orbitales atómicos y moleculares y la distribución de los electrones en varias subcapas atómicas.

Sin embargo, la ciencia química es la misma y sus objetivos permanecen. Hoy día los químicos leen y entienden el trabajo de los precursores del siglo XIX. Todavía nos movemos en la dirección que ellos señalaron. Pero hay una diferencia entre ellos y nosotros, ellos crearon el marco intelectual de referencia en el cual operamos. Crearon los puntos de vista que aprendemos al principio de nuestros estudios. Cuando miramos el agua y sabemos que su fórmula es H_2O u observamos una sustancia y pensamos en iones y moléculas rotando, estirándose, torciéndose, girando alrededor, colisionando y separándose, es porque ellos nos lo enseñaron. Sus conceptos, un siglo o dos más tarde, todavía son válidos.

La química del futuro es inimaginable, pero una cosa es segura: los químicos del futuro resolverán sus problemas con el mismo equipamiento mental que los grandes químicos del pasado, de ahí la importancia de este apretado recuento sobre la química.

Referencias

1. Fancello, Omiti. *El camino de la ciencia*. Grijalbo. México. 1990. Tomo I. p. 132.
2. Galiana Mingot, Tomás de. *Diccionario ilustrado de las ciencias y técnicas*. Larousse. México. 1992.
3. Enciclopedia Británica 98 en CD. Chicago. 1998.
4. Derry, T. K. y T. I. Williams. *Historia de la tecnología desde la antigüedad hasta 1750*. Siglo XXI. México. 1984.
5. Partington, J. R. *A Short History of Chemistry*. Dover. New York. 1989.
6. Homyard, E. J. *Alchemy*. Dover. New York. 1990.
7. Eliade, Mircea. *Herreros y alquimistas*. Alianza. Madrid. 1990.
8. Taylor, F. J. *Los alquimistas fundadores de la química moderna*. Fondo de Cultura Económica. México. 1957.
9. Buckhar, T. *Alquimia*. Plaza y Janés. New York. 1974.
10. Beerhave, H. *A New Method of Chemistry*. Traducido al inglés por P. Shaw. vol. I. 1741.
11. Tompson, C. J. *Alchemy Source of Chemistry and Medicine*. Sentry Press. New York. 1974.
12. Jaffe, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry*. Dover, New York. 1976.
13. Mieli, Aldo. *Lavoisier y la formación de la teoría química moderna*. Espasa Calpe. Buenos Aires. 1944.
14. Restrepo Rivas, Luis Guillermo. "A 120 años de Michael Faraday". En: *Electrónica fácil*. No. 39. p. 7.
15. Rovira, R. *Los grandes inventores modernos*. Editorial Difusión. Buenos Aires. 1945.
16. Moore, F. J. *A Story of Chemistry*. McGraw-Hill. New York. 1939.
17. Slazberg, Huhg H. *From Caveman to Chemist*. American Chemical Society. Washington. 1991.
18. Guerasimov, Ya, et al. *Curso de Química Física*. Tomo I. Mir. Moscú. 1980.
19. Leicester, H. M. *The Historical Background of Chemistry*. Dover. New York. 1971.
20. Derry, T. K. y T. I. Williams. *Historia de la tecnología de 1750 a 1900*. Siglo XXI. México. 1977.
21. Cardwell, Donald. *Historia de la Tecnología*. Alianza. Madrid. 1996.
22. Osorio Osma, Ramiro. *Historia de la química en Colombia*. Instituto de Cultura Hispánica. Bogotá. 1985.