

LA QUIMICA, TRIUNFO Y DESAFIO

* MARCO JOSÉ GÓMEZ F. M. S.

PROLOGO

Al terminar el siglo veinte, la ciencia ha llegado a cumbres nunca sospechadas de perfección y complejidad. El hombre, que cree provenir de las profundidades oceánicas, explora el fondo de los mares y escudriña las galaxias; observa los fenómenos de la vida y la materia y desencadena energías indómitas.

En un solo siglo los científicos han avanzado más en el conocimiento de las leyes naturales que en toda la historia de la humanidad. Se han derrotado enfermedades mortales, aunque otras permanecen desafiantes. El átomo reveló sus misterios y nos entregó una nueva energía, inmensa y pavorosa, que nació con estallidos de muerte pero augura tiempos de prosperidad. Las moléculas, con desesperante renuencia, van mostrando su forma, sus leyes, su comportamiento. Estamos en un mundo nuevo, abriendo ventanas de observación hacia el infinito de las estrellas y hacia los últimos resquicios de los ácidos nucleicos. El camino recorrido no ha sido corto ni fácil y la química es partícipe, en muy grande proporción, del progreso alcanzado.

LA MATERIA PRIMORDIAL

Desde el siglo tercero antes de Jesucristo, cuando Aristóteles condensó los conocimientos de la humanidad y sentenció que todos los cuerpos estaban formados de una "materia primordial", com-

* Profesor Asociado. Departamento de Química. Sección de Química Orgánica. Universidad Nacional de Colombia.

puesta de agua, tierra, aire y fuego, el hombre comenzó la batalla por dominar la materia y merecer el título de rey de la creación.

Ya en la Edad Media los alquimistas perseguían con entusiasmo y esperanza el descubrimiento de la "piedra filosofal", con la que podrían convertir una forma de materia en otra. Los príncipes y gobernantes patrocinaban generosamente a los investigadores, esperando con ansiedad el día que pudieran restaurar sus finanzas y pagar las deudas del Estado. A pesar de tanto estímulo, fueron pocos los que informaron sobre la exitosa transformación de un metal común en oro. La ambición deshonestas de los gobernantes y la falta de honradez científica de muchos investigadores hicieron fracasar un empeño digno de mejores realizaciones.

Pero la idea de una materia fundamental y la esperanza de vencer las fuerzas de los átomos y las moléculas nunca se abandonaron por completo. Con el progresivo desarrollo de la ciencia experimental y el avance de la química moderna se fueron revelando los secretos de la naturaleza y de su "materia primordial". Aunque la historia quiso que la desintegración del átomo fuera inicialmente un instrumento de guerra, el futuro promete convertirla en elemento de progreso, más que de ruina y devastación.

QUIMICA Y MEDICINA

La conversión del cobre en oro no es ya el acicate que impulsa a los hombres de ciencia, como no lo fue para el gran alquimista Paracelso quien, en plena Edad Media, sostenía con arrogancia ofensiva que "la función de la química no es hacer oro sino producir medicamentos"; él mismo preparó varias sales de los metales conocidos, las cuales usaba con bastante éxito, en forma de unguento, para curar distintas enfermedades. Fue así como se estableció firmemente la alianza entre la química y la medicina.

Aunque la alta dosis de superstición que se mezclaba con los experimentos hizo retrasar el desarrollo de la química como ciencia, los éxitos alcanzados a partir del siglo diecinueve marcaron el comienzo de una era brillante y beneficiosa para la humanidad.

Desde el descubrimiento de América, los europeos conocieron el poder medicinal que tenía la corteza de la quina —y también del sauce— contra el reumatismo, paludismo y otras enfermedades. Los químicos analizaron esta corteza y encontraron que el ingrediente activo era el *ácido salicílico*; luego desarrollaron el método para extraer el ácido puro de la corteza de la quina. Eso ya fue un triunfo de la química. Sin embargo, el procedimiento para separarlo era difícil y costoso, de modo que se propusieron sintetizar

este valioso compuesto, y en 1874 se logró elaborar un procedimiento simple para prepararlo a partir del fenol.

El ácido salicílico fue el precursor de la *aspirina*, ya que posee propiedades analgésicas, antipiréticas y antirreumáticas y durante varios años sirvió de base para muchos preparados curativos. Pero tenía una desventaja: su acción es irritante y el sabor desagradable.

En 1899 el famoso químico alemán Adolf Von Baeyer introdujo al mercado el ácido acetil salicílico con el nombre comercial de aspirina, como una forma no irritante ni desagradable del analgésico.

No contento con esto, Baeyer continuó trabajando en la obtención de nuevos productos químicos medicinales. Aunque no puede considerársele como el descubridor de los *barbitúricos*, las versiones populares sí le atribuyen la invención del término, que acuñó para un producto derivado del ácido úrico porque lo sintetizó el día de Santa Bárbara. Fue, sin embargo, su compatriota y colega Emil Fisher quien preparó el primer hipnótico de la serie de los barbitúricos, el *barbital*. Pero el progreso en el perfeccionamiento de estos soporíferos se debió a que los químicos se dieron cuenta de dos cosas: primero, que se necesitaba reemplazar los dos hidrógenos del carbono 5 en el ácido barbitúrico por dos grupos alquilo para que tuviera propiedades hipnóticas; y segundo, que las propiedades hipnóticas solo se producían cuando la suma de los carbonos de los dos grupos era cuatro o mayor, y cuanto mayor fuera esta suma, más prolongada y rápida era la acción del compuesto.

Posiblemente tranquilizados por los barbitúricos, los químicos de principios del siglo abandonaron las investigaciones médicas y se dedicaron con mucho entusiasmo a la preparación de nuevos colorantes, especialmente para los textiles de lana y seda.

El rápido progreso en la investigación de colorantes hizo desarrollar muchas teorías de la química orgánica y contribuyó también al avance de varias ramas afines. Por ejemplo, la bacteriología, a fines del siglo pasado, tenía un grave problema. Aún con los más potentes microscopios resultaba difícil distinguir los microorganismos porque las células son generalmente incoloras.

Los químicos fueron en ayuda de los bacteriólogos. Les informaron sobre la existencia de unos colorantes que se adherían firmemente a la lana y a la seda. Como estas fibras son de naturaleza proteínica, lo mismo que las bacterias, por qué no ensayar esos colorantes para teñir los microbios y verlos mejor.

Esta idea fue aceptada por Robert Koch, considerado el padre de la tinción biológica, quien desarrolló el método en 1878, que luego fue perfeccionado por Paul Erlich.

Así se obtuvieron colorantes seleccionados para la observación de las bacterias, tales como el azul de metileno, pararrosanilina y otros.

Los bacteriólogos pronto se dieron cuenta de que algunos de estos colorantes, cuando se aplicaban a ciertos microorganismos, además de teñirlos los mataban, o sea que actuaban como *bactericidas*. Y así los bacteriólogos devolvieron el favor a los químicos. El primer colorante que se usó como agente terapéutico bactericida fue precisamente el azul de metileno. Paul Erlich lo utilizó con éxito contra la malaria desde 1890, y además como antiséptico intestinal y urinario.

Entre los colorantes que se usaban para teñir la lana, los derivados del ácido sulfanílico eran los mejores y especialmente los que contenían el grupo sulfanilamida daban tintes muy resistentes al lavado, al blanqueado y a la luz. Esto llevó a pensar que si la sulfanilamida tenía una afinidad tan fuerte por las moléculas proteínicas de la lana, también la tendría por las moléculas proteínicas de las bacterias. Efectivamente, resultó que la sulfanilamida, además de ser un excelente colorante, es un poderoso bactericida.

A raíz de estos descubrimientos, la búsqueda de colorantes pasó a un segundo lugar y los químicos dedicaron sus energías a preparar nuevos compuestos medicinales, derivados del ácido sulfanílico, que recibieron el nombre común de *sulfamidas* o *sulfas*.

Estas drogas llegaron a ocupar el primer lugar entre los compuestos químicos antibacterianos. Actualmente, sin embargo, el uso de las sulfas ha disminuido bastante desde que se descubrieron los *antibióticos*, cuyo impacto en la historia de la química y la medicina relegó a un segundo lugar a casi todos los demás medicamentos bactericidas.

El término "antibiótico" era conocido desde tiempo atrás por médicos y biólogos, pero el resto de la gente no tenía un conocimiento claro de su significado. Lo que sí conocía la gente desde mucho antes —y desde mucho antes de conocerse el microscopio— eran los microbios. Paracelso mismo estaba convencido, aunque sin mucha comprobación, que las enfermedades eran causadas por organismos extraños que se introducían en el cuerpo y que para combatirlos debía usarse un compuesto químico determinado que destruyera al organismo que estaba causando la enfermedad.

Los químicos-médicos de la Edad Media ya conocían la acción curativa de algunas especies de moho, pero en esa época la superstición producía unas ideas muy peculiares. Se consideraba, por ejemplo, que solamente los hongos tomados de los cráneos de los hombres ejecutados por sus crímenes podían curar las enfermedades.

El médico inglés Sir Alexander Fleming no tuvo esta preocupación y logró aislar el principio activo de una especie de hongo. Ese principio activo es lo que conocemos hoy como *penicilina*, el primero de los antibióticos y el arma más poderosa contra muchos microorganismos patógenos. Aunque Fleming descubrió la penicilina en 1928, sólo en 1945 se pudo descifrar su fórmula y en 1947 se realizó la síntesis completa en el laboratorio.

Y parecía que, por primera vez, el hombre había vencido la enfermedad. Pero la naturaleza también se defiende del hombre y los microorganismos empezaron a reaccionar, en forma lenta pero sostenida, contra la penicilina, creando mutaciones hereditarias que los han ido haciendo cada vez más resistentes a estos antibióticos.

Se ha presentado así un nuevo reto a los químicos. El problema se está tratando de solucionar por medio de las *penicilinas biosintéticas*, derivadas de las naturales pero diferentes de éstas y capaces, por consiguiente, de atacar a las bacterias patógenas que se han vuelto resistentes a la penicilina natural. La lucha contra la enfermedad es permanente y los investigadores continúan buscando drogas maravillosas para prolongar la vida y la salud.

LA QUIMICA Y LOS PLASTICOS

Mientras algunos conquistadores se dedicaban a exportar la quina para aliviar el reumatismo de los europeos, otros descubrieron que los indios del Amazonas se divertían jugando con bolas de un material elástico, sorprendente y desconocido para los hombres civilizados. Preguntaron el nombre y los indígenas respondieron "cahuchu", que significa "lágrimas de Hevea".

El caucho fue el compuesto que sirvió de base para el desarrollo de toda la industria de los plásticos. Durante mucho tiempo los químicos estudiaron las lágrimas de Hevea, hasta que lograron determinar la muy peculiar estructura de este producto vegetal. Habiendo identificado al isopreno como su unidad fundamental, parecía sencillo obtener un caucho sintético por polimerización de esta molécula, pero los intentos de unir los eslabones de isopreno en cadenas largas y flexibles no tuvieron éxito.

El químico ruso S. V. Lévedev decidió ensayar más bien con el butadieno, molécula parecida al isopreno en estructura y cuya polimerización resultó más fácil de dirigir. Así se obtuvo por primera vez, a fines del siglo pasado, un caucho sintético industrial.

Aunque el producto artificial a base de butadieno poseía propiedades superiores a las del caucho natural, aún tenía muchos defectos que no lo hacían apropiado para algunos usos. De modo que

se continuó trabajando para obtener *elastómeros* con mejores propiedades. Así se desarrollaron los excelentes cauchos "Buna"; posteriormente el caucho butílico, que, además de resultar muy barato, es casi insensible a la acción del ozono, y luego se dio un paso importante con la obtención de los cauchos esponjosos de poliuretano.

En las tres últimas décadas se han elaborado polímeros artificiales con propiedades que los científicos antes ni siquiera podían imaginar. Son los plásticos a base de fluorocarburos, que resisten temperaturas hasta de 300 grados centígrados, no se corroen por los ácidos sulfúrico, nítrico o clorhídrico, no los afectan los álcalis hirvientes ni se disuelven en ninguno de los disolventes orgánicos o inorgánicos conocidos. Así es el *teflón*, uno de los materiales artificiales más admirables, creado por el hombre con el poder de la química.

Aún con sus extraordinarias cualidades, sin embargo, los polímeros de fluorocarburo no pueden satisfacer todas las necesidades de la sociedad y de la industria y los investigadores no cesan de buscar nuevos compuestos con diversas propiedades para las diferentes necesidades. Desde hace muchos años el silicio ha despertado el interés de los químicos por sus cualidades un tanto particulares. Aunque es un elemento inorgánico —y el más importante— tiene propiedades intrigantemente parecidas a las del carbono, el padre de los compuestos orgánicos. Lo mismo que el carbono, el silicio es tetravalente y forma cadenas, pero lástima, muy pequeñas.

Se decidió entonces que tal vez se podría "corregir" este defecto del silicio y obtener cadenas largas que tendrían propiedades extraordinarias. Hubo, sin embargo, un error de apreciación, pues la naturaleza no tiene defectos; la falla estaba en que no se conocían bien las leyes que rigen el comportamiento de este elemento.

Después de miles de experimentos, se descubrió que sí se podían obtener cadenas largas, pero alternando los átomos de silicio con átomos de oxígeno y de carbono. De esta hermandad resultaron unos compuestos extraordinarios, que poseen una serie de propiedades únicas y que recibieron el nombre de siliconas. Las industrias de construcción, pinturas, textiles y mecánica se han beneficiado enormemente con el advenimiento de estas resinas de silicona.

Lo mencionado, empero, es apenas el comienzo de la química del silicio. Los investigadores tienen ahora el propósito de introducir en las moléculas de los compuestos organosilícicos otros elementos tales como aluminio, titanio, boro, etc., y el problema se está resolviendo felizmente. Así ha nacido en los últimos años una clase completamente nueva de sustancias: los *polisiloxanos organometálicos*, que funden a temperaturas de 500 a 600 grados centí-

grados, y en este sentido pueden competir con muchos metales y aleaciones. Son innumerables los productos poliméricos que se han obtenido y las investigaciones que se adelantan. Desde los vehículos interplanetarios, pasando por la industria automotriz, la construcción, las pinturas, la industria textil, hasta la medicina, están progresando debido en gran parte al perfeccionamiento continuo de los polímeros sintéticos.

QUIMICA Y ENERGIA

Muchas reacciones químicas ocurren por la acción de la luz. Sin embargo, aunque existe ya la fotoquímica como rama especial de la Química, aún no se han podido producir, en forma eficiente, carbohidratos y proteínas en el laboratorio. Así, que, por ahora, las plantas conservan sus patentes de invención para la fabricación de muchas sustancias.

Pero los científicos ya saben hacer algunos "trucos" fotoquímicos, como iluminar las plantas con luz de diferente longitud de onda para hacer cambiar la proporción y composición de los productos de la fotosíntesis. Aunque parezca una utopía, esto permite esperar que en un futuro, con ayuda de las plantas, podamos obtener en grandes cantidades muchas sustancias orgánicas necesarias para la vida en la tierra.

El interés de los investigadores, sin embargo, no se limita a los rayos luminosos del sol. Las emisiones radiactivas, los rayos X y rayos gama transportan enorme cantidad de energía y pueden producir innumerables y sorprendentes reacciones. La industria del petróleo ya se está beneficiando de la *radioquímica*, pues el proceso del craqueo, que normalmente necesita temperaturas altas, catalizadores y un tiempo considerable, puede efectuarse ahora rápida y fácilmente por medio de una radiación determinada.

Extraordinario es el hecho de que la radiación no solo sirve para desintegrar moléculas grandes, sino que también puede efectuar el trabajo inverso. Cuando se aplica una radiación de rayos beta a una mezcla de hidrocarburos gaseosos, se produce una síntesis de moléculas más complejas y se forman hidrocarburos líquidos pesados. Esta propiedad sintética de las emisiones radiactivas se está utilizando ya para producir polímeros, tales como el polietileno en forma rápida y sencilla.

Entusiasmados por estos procesos de síntesis por medio de radiaciones, los químicos se han propuesto una meta más ambiciosa: *la síntesis orgánica prebiológica*, es decir, la producción de molé-

culas orgánicas complejas en atmósferas primitivas: atmósferas semejantes a las que debieron existir hace millones de años, cuando aún no había vida en la tierra. Las mezclas de gases "primitivos"—metano, amoníaco, hidrógeno y agua— sometidas a la descarga eléctrica o a la radiación ultravioleta, produjeron una síntesis de aminoácidos. Esto es un resultado muy importante porque las descargas eléctricas pueden iniciarse por fuertes turbulencias atmosféricas, y el flujo ultravioleta está siempre presente en la radiación solar.

Existe también otra fuente de energía que está acaparando la atención: los *protones energéticos*. El "viento solar" es bastante rico en *protones energéticos*, y los planetas y satélites están expuestos a esta radiación protónica.

Se ha comprobado, además, que los planetas tienen zonas de radiación alrededor de ellos, desde las cuales pueden bombardear su atmósfera o la de un satélite. Es interesante el hecho de que Titán, el satélite mayor de Saturno, que posee una atmósfera de gases primitivos, tiene una apariencia rojiza, debida probablemente a azufre polimerizado y polisulfuros de amonio, resultantes del bombardeo protónico.

Es evidente, por los resultados obtenidos hasta ahora, que las emisiones radiactivas pueden ser una fuente efectiva de energía para la formación de sustancias complejas a partir de moléculas sencillas. Sin embargo, el peligro que presentan estas radiaciones ha dificultado y seguirá dificultando por largo tiempo el avance de tan importante investigación. Mientras se encuentra la solución al problema de la radiactividad, que no parece fácil, debemos utilizar al máximo la energía de los rayos luminosos del sol, a través de las plantas y de los mares. El océano contiene una inmensa cantidad de energía fácilmente utilizable. Más del 70 por ciento de la luz del sol que ilumina la tierra cae sobre los océanos, calentando las aguas de la superficie, especialmente en las regiones tropicales. De allí, las aguas tibias fluyen hacia los polos y, al enfriarse, se hunden. Luego las aguas frías regresan por las profundidades a las regiones tropicales, con una temperatura aproximada de 5 grados centígrados, aún tan cerca de la superficie como a 100 metros.

En los trópicos, entonces, se establece un *gradiente térmico* que teóricamente puede utilizarse para generar una energía limpia, sin ruido y sin humo, porque es hija legítima del sol, engendrada en el vientre del mar. Solo falta encontrar la manera más práctica y económica para hacer que los mares realmente den a luz.

EPILOGO

La química, como ciencia y como filosofía, se ocupa de las transformaciones e interacciones de la materia con sus fenómenos acompañantes. Como arte y tecnología, ha contribuido grandemente al progreso industrial de la sociedad. Los prodigiosos avances de la bioquímica y cosmoquímica en los últimos años han revelado secretos de la vida y del espacio que parecían imposibles de desentrañar. Los ácidos nucleicos empiezan a demostrar sus códigos genéticos, los insectos cambian sus hábitos sexuales por el efecto de un compuesto químico y las remotas estrellas nos descubren su tamaño, su distancia y composición al conjuro de un espectroscopio.

Y sin embargo, el cáncer prosigue invencible su batalla mortal contra la vida, el fondo de los mares permanece inexplorado, las plantas siguen produciendo en silencio millares de sustancias útiles que aún no han sido descubiertas o analizadas; las llantas viejas y los desperdicios plásticos inundan la tierra sin saber en qué utilizarlos, y la causa del sabor dulce de la sacarina continúa en el misterio.

El camino recorrido no ha sido corto ni fácil. El que falta recorrer es también largo y difícil.