



ÍNDICE

Numeración	Epígrafe	Página
1	El desarrollo de la Química en el siglo XX.	3
2	El descubrimiento de los últimos elementos químicos	6
3	El enlace químico.	12
4	La Químico-física en el siglo XX.	16
5	Los congresos Solvay.	21
6	El desarrollo del instrumental analítico.	25
7	La Bioquímica.	27
8	Las bases del desarrollo de la Quimioterapia.	37
9	La Química en la alimentación.	42
10	La Química y el Medio Ambiente.	46
11	Nuevos materiales y productos químicos sintéticos.	50
12	Actividades.	60





1. El desarrollo de la Química en el siglo XX.

Al llegar el siglo XX, en el mundo de la Física hay una crisis conceptual con el surgimiento de la Revolución Relativista y de la Teoría Cuántica, que indican que se está ante la puerta de una nueva época, postmoderna. En la Química no existe esa discontinuidad, pero de forma indirecta sí que ha influido en la misma el cambio sufrido en la Física, pues durante el siglo XX, el desarrollo de la Química está directamente relacionado con el avance de la Física, no existiendo una clara diferencia entre ambas ciencias en algunos campos, como el de la Teoría Atómica. No obstante, el perfeccionamiento teórico del desarrollo de la Química-física y la matematización del análisis del enlace químico son cuestiones específicamente propias del avance de la Química en este siglo.

La crisis provocada en el pensamiento teórico en el mundo de la Física es propia de la persona postmoderna, que carece de un sistema de pensamiento propio de su tiempo, en el que coexisten diferentes sistemas y todos ellos con la generalizada no aceptación de ninguno. En concreto, la Física no da respuestas exactas para describir el Universo ni para conocer la materia a nivel microscópico y sus teorías son modelos e hipótesis que son continuamente cuestionados.

En la Postmodernidad, iniciada en el siglo XX, ya no predomina la perspectiva de la RAZÓN y se ha sustituido por otra, en concreto la de la VIDA y esta perspectiva práctica afecta a la Ciencia, haciendo que la Física pierda protagonismo y sea sustituida por las Ciencias de la Vida, como Biología, Bioquímica o Ingeniería Genética, y claramente ello incide en la Química, como ciencia que sirve de sustento a estas disciplinas.

Este trasvase de la labor científica, desde el mundo de lo teórico al de lo estrictamente práctico ha hecho poner en vanguardia de la investigación química, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo, los campos de la bioquímica, la de los nuevos materiales y de los productos químicos sintéticos de interés energético, farmacológico, agrícola y alimentario y el subsiguiente desarrollo de la gran industria química en este siglo.

En cualquiera de las disciplinas enunciadas anteriormente, ha habido un desarrollo de potentes herramientas para el análisis estructural de las complejas sustancias utilizadas, lo que precedió o evolucionó paralelamente con las necesidades planteadas a la investigación. Un amplio repertorio de estas técnicas fue inventado y prosigue en permanente perfeccionamiento y expansión, entre las que sobresalen aquellas técnicas punta basadas en la interacción específica de la radiación con las sustancias.

El siglo XX

A pesar de las contradicciones y avatares del siglo XX, que incluye dos grandes guerras mundiales, ha sido un siglo en el que ha dado un salto espectacular la Ciencia y la Tecnología. En el mismo se inauguran la era atómica, la edad de los materiales sintéticos, los tiempos de la conquista del espacio sideral, la época de la robótica y de la informática, el despegue de la ingeniería genética y la revolución verde agrícola, y en cada una de estas conquistas está presente la Química como ciencia básica.



Laboratorio de Química de la primera mitad del siglo XX.



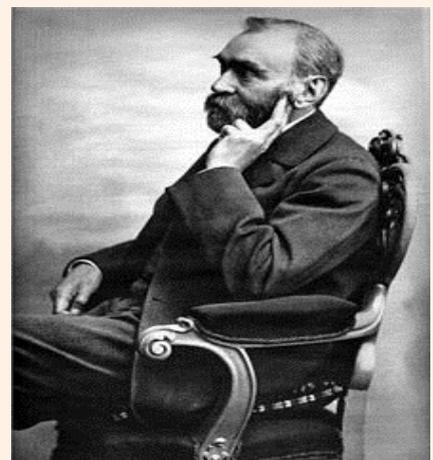
El siglo XX trae también una organización de la ciencia en Instituciones que concentran sus esfuerzos tanto en estudios fundamentales como en aquellos de orden práctico. Los políticos se dieron cuenta, desde la Primera Guerra Mundial, de la necesidad de sufragar los gastos de aquellas investigaciones relacionadas con la tecnología militar. Así:

- El Laboratorio de Cavendish en Cambridge, fundado en el siglo XIX, hizo época por la relevancia de sus investigaciones fundamentales para la determinación de la estructura atómica y por la excelencia de sus directores, J.J. Thomsom y Ernest Rutherford, que lograron con su liderazgo que siete investigadores asistentes del Laboratorio alcanzaran el Premio Nobel de Física.

- El Laboratorio Kaiser Guillermo de Berlín constituyó un modelo de institución investigativa en las primeras décadas del siglo y contó, en el período de la Primera Guerra Mundial, con la asistencia de los más célebres científicos alemanes vinculados a proyectos de desarrollo de nuevas armas. Fritz Haber, notable químico alemán jugó el triste papel de introductor del arma química en los campos de batalla.

- En la década de 1940, se crea en Nuevo México, el Laboratorio Nacional de los Álamos, verdadera empresa científica multinacional, con el objetivo de dar cumplimiento al Proyecto Manhattan para la fabricación de la bomba atómica. La movilización de hombres de ciencias de todas las banderas tuvo el propósito de neutralizar cualquier tentativa de la Alemania hitleriana de emplear el chantaje nuclear. El propio Einstein, con su enorme prestigio, inicia el movimiento enviando una carta al presidente de Estados Unidos. Cinco años después, enterado de los éxitos ya obtenidos en los ensayos de la bomba atómica, vuelve a usar la pluma para reclamar prudencia en el empleo de este engendro de la Física Nuclear. El 9 de agosto de 1945 la humanidad se aterroriza con la hecatombe nuclear en Hiroshima y días después se repite la escena en Nagasaki. Se inaugura la época del arma nuclear con un saldo de cien mil muertos y más de ciento cincuenta mil heridos y una multiplicación a largo plazo de las víctimas como resultado de las manifestaciones cancerígenas y las mutaciones genéticas inducidas por la radiación nuclear.

La mayoría de la comunidad científica reacciona contra el desarrollo del armamento nuclear y abraza la causa del uso pacífico de la energía nuclear. El propio Einstein aboga por el desarme internacional y la creación de un gobierno mundial. Pero no faltan los que consideran continuar la espiral armamentista, confiados en que el liderazgo de un país puede resultar ventajoso para todo el mundo. Entre estos se encuentra el arquitecto principal de la bomba de hidrógeno, el físico húngaro, nacionalizado estadounidense, Edward Teller.



Alfred Nobel (1833-1896).

En el ámbito de la Química existe un liderazgo alemán hasta la segunda guerra mundial que se ilustra con precisión en la nacionalidad de los científicos laureados con el premio Nobel de la Academia Sueca de las Ciencias. Un 40 % de los 40 premiados en Química hasta 1939 son alemanes, lo cual supera en conjunto los lauros alcanzados por el Reino Unido, Francia y Estados Unidos. Esta pirámide que descubre la concentración de los polos científicos en la Europa se invierte totalmente en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial pasando el liderazgo absoluto a Estados Unidos.



A la luz de la interdisciplinariedad exigida por la Fisiología, la Bioquímica, la Farmacología, la Medicina y la Química se logran increíbles. Hay que reconocer que son fisiólogos y médicos los que abren el fuego sobre el campo de los productos químicos que cumplen importantes funciones reguladoras en el organismo humano. Así en 1902, los fisiólogos británicos Ernest Henry Starling (1866-1927) y William Maddock Bayliss (1860-1964), al estudiar la secretina, hormona intestinal que estimula la secreción pancreática, introducen el término hormona para indicar una secreción que puede actuar sobre otros órganos al trasladarse en la corriente sanguínea.

Otro ejemplo son las investigaciones de los fisiólogos canadienses Frederick Grant Banting (1891-1941) y Charles Best (1899-1978), que les lleva al descubrimiento de la hormona insulina en 1921. Paralelamente con las investigaciones de médicos y fisiólogos y sobre todo a partir de la década de 1920, los químicos obtienen resultados trascendentales en el campo de las vitaminas, proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos químicos asociados a la vida.



En conexión con la derivación hacia el estudio de los compuestos bioactivos se encuentra el desarrollo de múltiples fármacos, iniciado por el médico y bacteriólogo alemán **Paul Ehrlich** en el siglo XIX, el antecedente de la Quimioterapia.

En el campo de los materiales se han desarrollado nuevos materiales que muestran propiedades no observadas en los productos naturales. Ahora no prevalece la casualidad que lleva en 1839 al norteamericano Charles Goodyear a descubrir el caucho vulcanizado y al norteamericano John Wesley Hyatt a encontrar en 1869 el primer material termoplástico, el celuloide. A partir de la década de 1930 se despega una tras otra las invenciones de

nuevos polímeros sustentados en rutas sintéticas cuidadosamente proyectadas y la carrera en la síntesis de nuevos polímeros llega hasta hoy impulsada por la conquista del cosmos, la revolución en las comunicaciones y el dominio de los biopolímeros para fines médicos, y se concreta con la producción de polímeros biodegradables, conductores, fotopolímeros y otros con propiedades específicas para la tecnología de punta.

En otro extremo destacan las investigaciones que han posibilitado el desarrollo de una revolución agrícola para un mundo mayoritariamente afectado por el hambre y en constante crecimiento (a pesar de las dos guerras mundiales devastadoras). Como ejemplos polémicos de esta dirección están los desarrollos asociados a la producción del amoníaco, pieza clave para el impulso de la industria de los fertilizantes nitrogenados y las investigaciones que condujeron al empleo masivo del DDT. Algunos autores han señalado el lanzamiento del libro "Primavera Silenciosa" en 1962 por la bióloga estadounidense Rachel Louise Carson (1907-1964) como un momento de especial importancia en la toma de conciencia por la comunidad científica y por amplios sectores de la opinión pública sobre los peligros generados por la actividad humana en el entorno ambiental. Lo cierto es que a partir de la década de 1970 se van acopiando más y más datos que conforman una visión dramática sobre los cambios que se observan en la atmósfera y el impacto real y potencial de las alteraciones que promueven, a lo que la comunidad química también ha prestado atención a este relevante problema contemporáneo.



2. El descubrimiento de los últimos elementos químicos.

El descubrimiento de los rayos X y la radiactividad a final del siglo XIX produce una gran sensación, no solamente entre los científicos, sino que también causa un gran impacto en las personas de la calle. Lógicamente un gran número de físicos y químicos estudian los fenómenos, destacando el matrimonio Curie. Sus trabajos en el campo de la radiactividad con el descubrimiento de dos elementos químicos nuevos, el polonio y el radio, da origen a que en el inicio del siglo XX, el estudio de los elementos químicos radiactivos se adueñen del centro del escenario, aunque continua el goteo del descubrimiento de elementos químicos de la serie de lantánidos de las tierras raras.

En 1896 el francés Eugène Demarçay (1852-1904) sospecha que las muestras de un elemento químico recién descubierto, el 62 de la tabla periódica o samario, están contaminadas con otro elemento químico desconocido y así en 1901 aísla un nuevo elemento químico, el 63 o europio. Antes, en 1898, utiliza sus habilidades como espectroscopista para ayudar a Marie Curie a confirmar que había descubierto el elemento químico radio. En 1907, el francés Georges Urbain (1872-1938) separa el iterbio, elemento químico 70, obtenido en 1878 por el suizo Jean Charles Galissard de Marignac (1817-1894) en dos elementos químicos: el iterbio propiamente dicho y el lutecio, descubriendo así este nuevo elemento químico, el 71 de la Tabla Periódica.



Soddy y Moseley.

Soddy también descubre de forma independiente el protactinio, pero son Hahn y Meitner quienes lo publican primero.

El descubrimiento de la noción de isótopo por el inglés Frederick Soddy (1877-1956) en 1913 sirve para poner orden en los supuestos elementos químicos radiactivos que se iban encontrando. De igual forma el trabajo en 1913 del inglés Henry Moseley (1887-1915) sirve para marcar el norte y centrar en el número atómico como la variable determinante de la Tabla Periódica de los elementos químicos.

Moseley no vive lo suficiente para ver lo bien que funciona su ley de los números atómicos. Muere en 1915 en la batalla de Gallípoli durante el transcurso de la Primera Guerra Mundial. En la época de su muerte se conocía hasta el uranio, que era el elemento químico de mayor número atómico, 92, pero existían varios huecos: 43, 61, 72, 75, 85, 87 y 91; de los conocidos, todos los existentes por encima del 83 eran radiactivos.



Otto Hahn y Lise Meitner se hacen famosos por su descubrimiento de la fisión del uranio.

En 1917 Otto Hahn (1879-1968) y Lise Meitner (1878-1968) trabajando en Berlín, descomponen pechblenda y encuentran un residuo radiactivo que demuestra ser el elemento químico 91, y como se desintegra hasta el actinio, fue llamado protactinio.



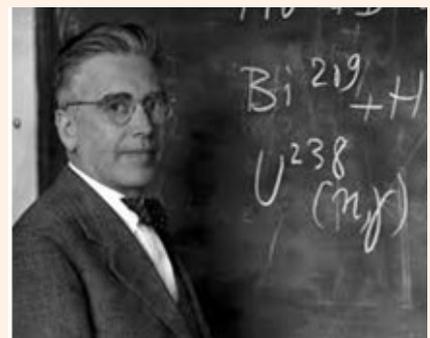
En aquellos años, en torno a 1920, los científicos atómicos estaban seguros que los elementos químicos más allá del uranio, el 92, tendrían una vida tan breve que no sobreviviría la menor traza de ellos para encontrarlos en la naturaleza. Así, pues, para los efectos prácticos el uranio constituía el final de la Tabla Periódica, por lo que los científicos de esta época concentraron sus energías en descubrir los huecos restantes. Así, la investigación sistemática con rayos X conduce al descubrimiento de los elementos químicos 72 y 75:

- En 1923, el holandés Dirk Coster (1889-1950) y el sueco de origen húngaro George Hevesy (1885-1966) descubren en Copenhague mediante análisis espectroscópico de rayos X de un mineral de circonio el elemento químico 72, que recibe el nombre de hafnio, que deriva de Hafnia, que es el nombre latino de Copenhague.
- En 1925, los científicos alemanes de la Universidad de Berlín: Ida Eva Tacke (1896-1978), su esposo Walter Noddack (1893-1960) y Otto Berg (1873-1939), publican que habían detectado por análisis espectrográficos con rayos X en minerales de tantalita, wolframita y columbita, hallados en las cercanías del río Rin un nuevo elemento químico, el 75 o renio, cuyo nombre deriva del nombre en latín del río Rin.

Tabla periódica de los elementos químicos.

La aparición en escena de la radiactividad artificial con el experimento de 1919 del británico Ernest Rutherford (1871-1937) de la desintegración del nitrógeno por bombardeo con partículas alfa y los trabajos del matrimonio Frédéric Joliot- Iréne Curie, centra de nuevo el estudio de los elementos químicos con el fenómeno de la radiactividad.

Con la aparición en 1931 del primer “aplastaátomos” o ciclotrón por el norteamericano de la Universidad de California, Ernest Lawrence (1901-1958), se abre los núcleos de los átomos y de esta forma el italo-americano Emilio Segrè (1905-1989) obtiene en 1937 pequeñas cantidades del elemento químico 43 por bombardeo del molibdeno con neutrones y llama a dicho elemento químico tecnecio por la palabra griega que significa artificial, ya que es el primer elemento químico nuevo producido de una forma totalmente artificial.



Emilio Segrè.

El elemento químico 87 es descubierto en 1939 por la francesa Marguerite Perey (1909-1975) del Instituto Curie de París, al purificar muestras de lantano que contenían actinio. Varias pruebas eliminan la posibilidad de que sea torio, radio, plomo, bismuto o talio, tratándose, por tanto, de un elemento químico desconocido. El nuevo elemento químico muestra propiedades químicas propias de un metal alcalino, lo que lleva a Perey a pensar que se encuentra frente al elemento químico 87, generado por la desintegración alfa del ²²⁷Ac y es llamado francio.



En 1940, El astato (del griego astatos, que significa inestable) es sintetizado por los norteamericanos Dale Raymond Corson (1914-2012), Kenneth Ross MacKenzie (1912-2002) y Emilio Segrè en la Universidad de Berkeley en California, al bombardear bismuto con partículas alfa.

Así, al llegar la década de 1940, el único elemento químico que falta por descubrir de la Tabla Periódica de los 92 elementos químicos es el 61, el prometio, que sale a la luz como una consecuencia más de la fisión nuclear del uranio (el nombre deriva del dios griego Prometeo, dador de fuego, por haberse creado en el cálido fuego del horno nuclear). La prueba de la existencia del prometio es obtenida por los norteamericanos Jacob Akiba Marinsky (1918-2005), Lawrence Elgin Glendenin (1918-2008) y Charles Dubois Coryell (1912-1971) en 1945, analizando los subproductos de la fisión del uranio producidos en un reactor nuclear situado en un laboratorio de Tennessee. También se obtiene por bombardeo de neodimio con neutrones y fue aislado utilizando cromatografía de intercambio iónico. Demasiado ocupados con las investigaciones relacionadas con la defensa en la Guerra Mundial, dichos químicos no anuncian su descubrimiento hasta 1947, una vez finalizada la contienda Mundial. Y así queda cubierto el último hueco de la Tabla Periódica, pero el prometio no constituye el final de la búsqueda de los elementos químicos. A fin de cuentas, el 92 no es el límite.

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Cer	Praseod	Neodim	Prometio	Samario	Europio	Gadolinio	Terbio	Dispro	Holmio	Erbio	Tulio	Iterbio	Lutecio
140.12	140.907	144.242	144.9127	150.36	151.964	157.25	158.925	162.50	164.930	167.259	168.930	173.054	174.967

Tierras raras de los latánidos.

Nº atómico	Nombre	Símbolo
57	Lantano	La
58	Cerio	Ce
59	Praseodimio	Pr
60	Neodimio	Nd
61	Prometio	Pm
62	Samario	Sm
63	Europio	Eu
64	Gadolinio	Gd
65	Terbio	Tb
66	Dispro	Dy
67	Holmio	Ho
68	Erbio	Er
69	Tulio	Tm
70	Iterbio	Yb
71	Lutecio	Lu

En 1940 los norteamericanos Edwin Mc Millan (1907-1991) y Philip Hauge Abelson (1913-2004) del Lawrence Radiation Laboratory de la Universidad de Berkeley de California descubren algo nuevo en los neutrones bombardeados del uranio y piensan que debe ser el elemento químico 93. ¿Qué clase de elemento químico es? En el séptimo período de la Tabla Periódica, el actinio es conocido por ser químicamente parecido al lantano. ¿Significa esto que comienza una segunda serie de elementos químicos de tierras raras? Y si es así, ¿el torio, protactinio, el uranio y el elemento 93 son todos elementos químicos de estas tierras raras? La química de estos elementos químicos no es bien conocida en aquella época y la duda está en si el nuevo elemento químico 93 debe parecerse al renio, elemento químico que sigue al wolframio en el sexto período.

Mc Millan pide a Segrè que analice su muestra del elemento químico 93 y Segrè averigua que no se parece al renio, sino que es más bien una tierra rara y Mc Millan y Abelson establecen que su elemento químico es definitivamente el elemento químico 93 y lo llaman neptunio, por Neptuno el planeta más allá de Urano. También en 1940 se descubre que el neptunio emite partículas beta, lo que da origen a un nuevo elemento químico, el 94, descubierto por Mc Millan y el también norteamericano Seaborg y llamado plutonio, por Plutón, el planeta más allá de Neptuno.



Como el neptunio y el plutonio pueden obtenerse artificialmente, ¿por qué no producir más elementos químicos transuránidos? De esta forma bajo la dirección de Glenn Theodore Seaborg (1912-1999) se establece un programa sistemático para ver cuán lejos se puede llegar. Bombardean cada elemento químico transuránido sucesivamente, hasta formar otros con números atómicos superiores. El trabajo no es sencillo y se hace más difícil de un elemento químico a otro, pues las vidas medias de los sucesivos elementos químicos son, cada vez más y más cortas, y, por tanto, resulta cada vez más difícil recoger suficiente cantidad de cada elemento químico para poder obtener el siguiente. Así en 1944 aparecen los elementos químicos 95 y 96, en 1949 el 97 y en 1950 el 98, que se corresponden, respectivamente, con el americio, curio, berkelio y californio.

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Torio	Proactinio	Uranio	Neptunio	Plutonio	Americio	Curio	Berkelio	Californio	Einstenio	Fermio	Mendelevio	Nobelio	Laurencio
232.03806	231.03628	238.02891	237.04817	244.06422	243.06138	261.10893	263.10596	287.10451	288.10725	315.15363	315.15363	323.10492	323.10492

Tierras raras de los actínidos.
Tanto el neptunio como el plutonio se comportan químicamente igual que las tierras raras, y se confirma que los elementos químicos que comienzan con el actinio deben formar una segunda serie de tierras raras.

Los siguientes elementos químicos aparecen tras la explosión de la primera bomba de hidrógeno. Así, en 1952 los científicos del equipo de Seaborg detectan en los restos de la explosión trazas de lo que parecían ser los elementos químicos 99 y 100, que son más tarde obtenidos en el laboratorio y anunciados y bautizados en 1955 con los nombres de einstenio y fermio en honor de Einstein y Fermi. En el mismo año de 1955 el equipo norteamericano de Seaborg y Albert Ghiorso (1915-2010) bombardean einstenio con partículas alfa y producen el elemento químico 101, llamado mendelevio en honor de Mendeléiev.

Actínidos		
90	Torio	Th
91	Proactinio	Pa
92	Uranio	U
93	Neptunio	Np
94	Plutonio	Pt
95	Americio	Am
96	Curio	Cm
97	Berkelio	Bk
98	Californio	Cf
99	Einstenio	Es
100	Fermio	Fm
101	Mendelevio	Md
102	Nobelio	No
103	Laurencio	Lr

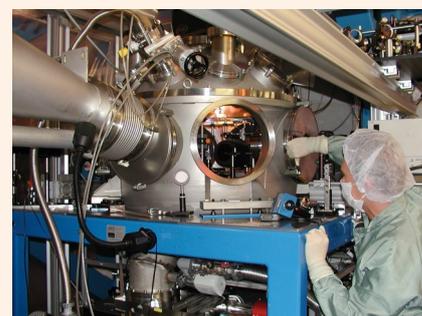
En 1957 un equipo de Estocolmo informa del aislamiento de un isótopo del elemento químico 102 bombardeando el isótopo de curio ^{244}Cm con iones del isótopo del carbono ^{13}C . En 1958 el equipo de Seaborg y Ghiorso de Berkeley anuncia que no pueden reproducir este proceso para obtener el nobelio, al igual que el grupo del laboratorio de Dubna en la URSS. Posteriormente, el nobelio es descubierto en 1958 en verdad por el equipo de Seaborg y Ghiorso en California. Como gran parte de la tarea es realizada en el Instituto Nobel de Estocolmo, se le llama por ello nobelio. En 1961 el equipo de Ghiorso obtiene el elemento químico 103 y pide que se llame laurencio, en honor de Lawrence, que ya había muerto. Con el laurencio acaba la serie de los actínidos, pero la tarea de búsqueda de nuevos elementos químicos continúa y empieza una dura disputa por la paternidad de los restantes elementos químicos entre los científicos soviéticos del Instituto Nuclear de Dubná, los norteamericanos de la Universidad de California y los europeos del GSI o centro de investigación sobre iones pesados de la ciudad alemana de Darmstadt. Las polémicas que existen se deben a la corta vida media de los isótopos de estos elementos químicos y su extrema dificultad para su caracterización, todo ello complicado además por el hecho de que estos elementos químicos sufren procesos de fisión junto con sus mecanismos de desintegración espontánea.



Esta rivalidad en la segunda mitad del siglo XX entre las instituciones científicas del este y oeste constituyen un reflejo de la guerra fría que prevalece en el contexto político de la época. A la competencia y el intercambio que alentó, en lo fundamental, el desarrollo de las investigaciones en las primeras décadas del siglo entre las Escuelas de Copenhague, Berlín, París, y Londres, le sustituye un cerrado silencio. El intercambio se tapia y las supuestas filtraciones al bando opuesto adquieren la dramática connotación de espionaje político. Los logros publicables que obtienen los laboratorios nucleares de Dubná, Darmstadt y Berkeley son sometidos a encendidas polémicas sobre prioridad, como son los casos de los descubrimientos de los elementos químicos posteriores al 103.

El ruso Georgy Flyorov (1913-1990) es quien funda en 1957 el laboratorio de reacciones nucleares en Dubná y fue su director hasta 1989. En 1964 los soviéticos de dicho laboratorio hallan isótopos del elemento químico 104 bombardeando plutonio con neón y determinan que sus propiedades son similares a las del hafnio, por lo que le colocan debajo de éste. Estos científicos sugieren el nombre de Kurchatovio para este elemento químico en honor del físico Igor Vasilevich Kurchatov y le asignan el símbolo Ku. Pero en 1969 el grupo de Ghiorso obtiene isótopos del 104 por bombardeo del californio con carbono y dan a su elemento químico el nombre de rutherfordio, de símbolo Rf, en honor de Rutherford, estableciéndose una polémica sobre la naturaleza de los isótopos hallados y por conseguir la primicia sobre la paternidad del descubrimiento. La IUPAC adopta temporalmente el nombre Unnilquadium, Unq, según la denominación sistemática de elementos químicos, hasta que en 1997 la disputa se resuelve con la adopción del nombre actual de rutherfordio. En 1968 los soviéticos de Dubná obtienen isótopos del elemento químico 105, que llaman dubnio y símbolo químico Db, por bombardeo del americio con neón, pero no consiguen caracterizarlo químicamente y basan su existencia en pruebas sobre su desintegración. En 1970 los soviéticos amplían su trabajo con el uso de cromatografía por gradiente térmico y detección de fisión espontánea y asignan la actividad al pentacloruro de $^{261}\text{Dubnio}$. En dicho mismo año el equipo de Ghiorso obtiene el elemento químico 105 por bombardeo del californio con nitrógeno, lo caracterizan y piden que se les reconozca su paternidad en el descubrimiento y le dan el nombre de hafnio en honor de Otto Hahn y el símbolo químico Ha.

En 1997 se da al elemento químico 105 el nombre de dubnio, pero el mismo Seaborg hasta su muerte en 1999 sigue disputando el cambio de nombre del elemento químico 105, al que pretendía seguir llamando hafnio. Seaborg creía que los rusos de Dubná habían hecho una reivindicación falsa sobre el elemento químico del que habían conseguido crédito. Ni siquiera cuando el grupo ruso saca a la luz información adicional sobre el experimento, Seaborg cambia de opinión y por esta razón aún hay gente que denomina al elemento químico 105 como hafnio.



Instalaciones del GSI de Darmstadt, que es una ciudad alemana que se encuentra situada a 30 km al sur del centro de Fráncfort. En Darmstadt se ha desarrollado un importante sector industrial, científico y educativo a partir de comienzos del siglo XX. Además de albergar un gran número de industrias químicas, entre las cuales destacan Merck y Röhm, la ciudad es sede del Centro Europeo de Operaciones Espaciales de la Agencia Espacial Europea.



El elemento químico 106 es descubierto casi simultáneamente por el equipo Flyorov y el de Ghiorso. En junio de 1974, los norteamericanos de Berkeley informan de la existencia de un isótopo de dicho elemento químico y en septiembre de dicho año, los soviéticos de Dubná comunican que han obtenido otro isótopo de dicho elemento químico por otra vía. Debido a que el trabajo del equipo norteamericano es confirmado primero por un grupo independiente, se le da el nombre de seaborgio.

En el laboratorio GSI de Darmstadt bajo la dirección del alemán Peter Armbruster (nacido en 1931) y el trabajo de científicos tales como el alemán Gottfried Münzenberg (nacido en 1940) se acreditan los descubrimientos de los elementos químicos del 107 al 112. En concreto, el elemento químico 107 es identificado sin ambigüedad en 1981 y recibe el nombre bohrio, en honor a Niels Bohr.

El 108 se registra en 1984 y se llama hassio, nombre que procede del estado alemán de la ciudad de Darmstadt. El 109 en 1982 y se denomina meitnerio en honor a Lise Meitner, el 110 en 1994 y se llama darmstadtio por Darmstadt, el 111 también en 1994 se llama roentgenio en recuerdo de Roentgen y el 112 en 1996 y recibe el nombre de copernicio en honor de Copérnico.

En diciembre de 1998, científicos de Dubná obtienen el elemento químico 114 y confirman su existencia en 1999 y en 2011 dicho elemento químico recibe el nombre de flerovio.

Nombres establecidos por la IUPAC a partir de 1997

104 Rutherfordio	Rf
105 Dubnio	Db
106 Seaborgio	Sg
107 Bohrio	Bh
108 Hassio	Hs
109 Meitnerio	Mt
110 Darmstadtio	Ds
111 Roentgenio	Rg
112 Copernicio	Cn
113 Nihonio	Nh
114 Flerovio	Fl
115 Moscovio	Mc
116 Livermorio	Lv
117 Teneso	Ts
118 Organesón	Og

En 2006 científicos del Lawrence Livermore National Laboratory de Livermore (California) confirman la existencia del elemento químico 116, que recibe el nombre de livermorio.

Después de la incorporación del flerovio y livermonio (114 y 116), llegan cuatro nuevas denominaciones, añadidas oficialmente el 1 de diciembre de 2016: nihonio, moscovio, teneso y oganesón, cuyos números atómicos son, respectivamente el 113, 115, 117 y 118. Ninguno de ellos puede encontrarse en la naturaleza y han sido descubiertos por la descomposición provocada al golpear entre sí núcleos de elementos químicos superpesados radiactivos.

El nihonio (113) proviene de la palabra nihon (Japón en japonés), pues corresponde a un hallazgo realizado por un equipo de científicos del Instituto Riken.

Los demás hacen referencia a Rusia y Estados Unidos, pues son el resultado de una investigación conjunta llevada a cabo por científicos del Joint Institute for Nuclear Research of Dubna, (Rusia) y del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore de California.

Moscovio (115), hace referencia a Moscú; teneso recibe su nombre a Tennessee (EE.UU.). Finalmente, oganesón (118), debe su denominación al físico nuclear ruso Yuri Oganessian, director del equipo científico que lo descubrió.



3. El enlace químico.

Mientras los químicos creían que los átomos eran esferas rígidas fue posible admitir que cada átomo tuviera algo parecido a uno o más ganchitos o corchetes que le permitiera unirse a otros átomos para formar moléculas. Al aceptarse el modelo atómico nuclear provisto de una corteza electrónica, se extiende la idea de que los electrones pueden actuar como intermediarios para facilitar el enlace químico.

Fue el alemán Richard Abegg (1869-1910) el primer investigador que llamó la atención sobre el hecho de que la valencia química debía estar relacionada con lo que actualmente se denomina configuración electrónica. En 1904, Abegg afirma que un elemento químico puede variar únicamente en ocho unidades su valencia, lo que es un anticipo de la regla del octeto de Lewis, apuntando que los máximos y mínimos estados o números de oxidación de los elementos químicos suelen diferir en ocho unidades. Abegg muere en un accidente de globo y no vive para ver como son desarrolladas sus ideas por una serie de químicos como Kossel y Lewis.



Walther Kossel.

En 1916 el alemán Walther Kossel (1888-1956) introduce el concepto de electrovalencia por transferencia de electrones de un átomo a otro para formar iones con estructura de gas noble. Asimismo en el mismo año de 1916,

el norteamericano Gilbert Newton Lewis (1875-1946) establece la teoría del enlace químico por compartición de pares de electrones, aunque si bien es cierto que Lewis no idea el concepto de enlace covalente, siendo el autor de ello el también norteamericano Irving Langmuir (1881-1957), al introducir dicho término para describir el enlace o unión por los electrones apareados o compartidos, que según Lewis es lo esencial del enlace para obtener la estructura de gas noble. Por tanto, se puede afirmar que la teoría del enlace covalente se debe a Lewis y Langmuir, y pronto se aplica en la Química Orgánica, reemplazando el viejo truco de las fórmulas de Kekulé por un par de electrones compartidos. Posteriormente el inglés Nevil Vincent Sidgwick (1873-1952) amplía el concepto de covalencia a los compuestos inorgánicos e introduce la noción de enlace covalente coordinado, la cual desempeña un importante papel en la química de los compuestos complejos o de coordinación. En 1927, propone el efecto del par inerte electrónico de los electrones s periféricos a estar no compartidos en compuestos químicos de elementos químicos que se relaciona con el aumento de estabilidad de los estados o números de oxidación que son dos unidades menos que la valencia de grupo para los elementos químicos más pesados de los grupos 13, 14, 15 y 16 de la Tabla Periódica.



Gilbert Newton Lewis.



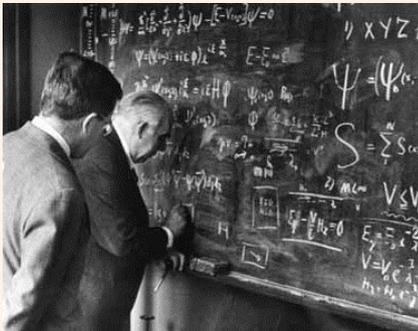
Estas ideas cualitativas son desarrolladas antes de la difusión de la Mecánica Cuántica. En 1927, se aplica la ecuación de Schrödinger a los electrones implicados en la formación de enlaces covalentes para buscar las estructuras electrónicas de energía mínima, pero la ecuación de Schrödinger no puede resolverse exactamente para sistemas de más de un electrón y surgen dos métodos aproximados para tratar el enlace químico.

a) El método del enlace de valencia del alemán Walter Heitler (1904-1981) y el alemán-norteamericano Fritz London (1900-1954) en 1927 y con el que calculan mecano-cuántica la fuerza del enlace en la molécula del hidrógeno y dan una explicación cuantitativa del enlace químico. Algunos de los conceptos que emergen son: el orbital atómico y orbital molecular, que ahora designan regiones que con determinada probabilidad se encuentra la nube de electrones; la noción de energía de enlace para indicar su fortaleza; el radio o distancia internuclear promedio para señalar las posiciones relativas de los núcleos; la densidad electrónica relativa para denotar la existencia de los



Heitler y London.

El método de enlace de valencia demuestra que durante el acercamiento de dos átomos con electrones de espines opuestos ocurre un aumento de la densidad de la nube electrónica en el espacio entre los núcleos, que se acompaña con una disminución considerable de la energía del sistema. Surge así el enlace con la formación así de un sistema más estable y comienza a desarrollarse un nuevo sistema de categorías para explicar las características del enlace químico.



Niels Bohr mostrando a su hijo Aage la resolución de la ecuación de Schrödinger.

sitios activos responsables de la reactividad, y el orden de enlace para advertir la multiplicidad que presentan los átomos al enlazarse. El norteamericano Linus Pauling (1901-1994) usa las ideas de pares de electrones enlazantes de Lewis junto con la teoría de Heitler-London y desarrolla dos conceptos claves en la teoría del enlace de valencia: el de resonancia en 1928 y el de hibridación de orbitales y la tetravalencia del carbono en 1932. Todo ello da pie a que Pauling junto con el norteamericano John Clarke Slater (1900-1976) actualice la teoría de Heitler-London y elaboran la teoría general del enlace químico, conocida como teoría del enlace de valencia

o teoría HLSP, en honor de Heitler, London, Slater y Pauling.

b) A pesar de la aceptación de la teoría del enlace de valencia, no puede explicar hechos experimentales como el paramagnetismo mostrado por el O_2 . En 1928 aparece el método de orbitales moleculares del norteamericano Robert Sanderson Mulliken (1896-1986), según el cual los electrones atómicos amplían su movimiento para extender su influencia al conjunto de la molécula de la que forman parte. También hay que citar la contribución al desarrollo del citado método de la publicación en 1929 del artículo del inglés John Lennard-Jones (1894-1954) sobre los orbitales moleculares como combinación lineal de orbitales atómicos y la regla de Hund del alemán Friedrich Hund (1896-1997), que explica el paramagnetismo del O_2 y de los cationes de muchos metales de transición. En cualquier caso, ambos métodos pueden considerarse complementarios, pues cada uno falla donde el otro alcanza sus mejores resultados.



En 1940 Sidgwick relaciona la geometría molecular de las moléculas con el número de electrones de valencia de un átomo central y estas ideas son refinadas en 1957 en la teoría de la repulsión de pares de electrones por el canadiense Ronald Gillespie (nacido en 1924) y el australiano Ronald Sydney Nyholm (1917-1971), construyendo una teoría detallada que permite elegir, entre varias alternativas geométricas, la más adecuada para una molécula determinada.

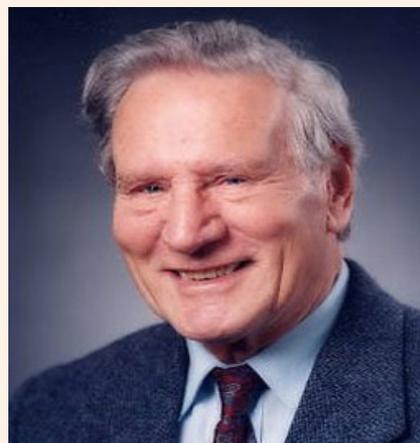
También hay que recordar la contribución al enlace químico del suizo Alfred Werner (1866-1919), quien en 1893 enuncia la teoría de la coordinación según la cual los componentes moleculares inorgánicos actúan como un núcleo central alrededor del cual se ubican un número definido de otros átomos, radicales u otras moléculas según un patrón geométrico sencillo, y gracias a su teoría se descubren los isómeros de muchas combinaciones metálicas. Propuso la configuración en octaedro de los complejos de los metales de transición, lo que hoy se conoce como geometría molecular octaédrica y en 1914 descubrió el exol, una sal de cobalto, el primer compuesto quiral que no contiene átomos de carbono.

El descubrimiento de la difracción de rayos X por los cristales por el alemán Max von Laue (1879-1960) en 1912 y el desarrollo de la determinación de estructuras cristalinas por William Henry Bragg (1862-1942) y su hijo William Lawrence Bragg (1890-1971), conduce a una teoría muy satisfactoria del enlace en compuestos iónicos o electrovalentes, en base a interacciones electrostáticas entre iones cargados.

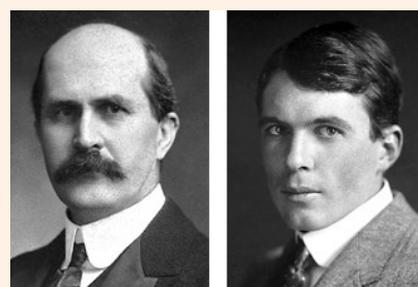
El conocimiento de las estructuras cristalinas es perfeccionado por el alemán Erwin Madelung (1881-1972), que es famoso por el desarrollo de la constante que lleva su nombre, que caracteriza en las redes electrostáticas los efectos de todos los iones en una red cristalina y se utiliza para determinar la energía de un ión.

En 1918, el alemán, nacionalizado inglés, Max Born (1882-1970) y el alemán, nacionalizado norteamericano, Alfred Landé (1880-1976) deducen una expresión para calcular teóricamente las energías de red en la formación de los compuestos iónicos, y al año siguiente Max Born y el alemán Fritz Haber (1868-1934) proponen el ciclo que lleva el nombre de ambos para calcular energías de red o electroafinidades.

El trabajo del holandés, nacionalizado norteamericano, Peter Debye (1884-1966) sobre momentos dipolares en 1929 y la teoría de la resonancia de Linus Pauling, ha contribuido a establecer la existencia de enlaces intermedios entre iónicos y covalentes y a aclarar su naturaleza.



Gillespie también ha realizado una amplia labor en la determinación del radio covalente del flúor en la molécula de F_2 . El radio covalente de la mayoría de los átomos se obtiene tomando la mitad de la longitud de un enlace simple entre dos átomos similares en una molécula neutra. Calcular el radio covalente de flúor es más difícil debido a su alta electronegatividad en comparación con su pequeño radio atómico.



En 1915 padre e hijo Bragg reciben conjuntamente el premio Nobel de Física por su trabajo en la determinación de las estructuras cristalinas por análisis con rayos X.

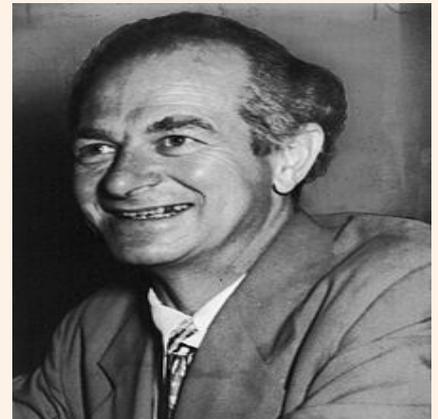


Pauling con su aparato de difracción de electrones estudia en 1930 la estructura molecular de un gran número de sustancias y en 1932 concibe la noción de electronegatividad. Utilizando diversas propiedades de las moléculas como su momento dipolar y la energía necesaria para romper los enlaces, establece su escala, útil para la predicción de la naturaleza de los enlaces químicos.

La noción de fuerza intermolecular se llama también interacción de Van der Waals, pues el holandés Johannes Van der Waals (1837-1923) es el primero en darse cuenta de la necesidad de tomar en consideración las interacciones entre las moléculas, que tienen su origen en la distribución de cargas positivas y negativas en la molécula, y son distintas a aquellas debidas al enlace covalente o a la interacción electrostática de iones.

La estructura del denominado enlace metálico nace como entidad aparte, al no poderse aplicar a los metales el enlace covalente ni el iónico. La teoría más sencilla del enlace metálico es introducida en 1900 por el alemán Paul Drude (1863-1906) y recibe el nombre de teoría del electrón libre o del mar de electrones y sirve para explicar las propiedades conductoras térmicas, eléctricas y ópticas de los metales en base a la aplicación de la teoría cinética aplicada a los electrones en un sólido. Proporciona unos resultados razonables, aun cuando actualmente es una teoría superado por el correspondiente modelo cuántico basado en la teoría de bandas de conducción. El modelo de Drude es mejorado y perfeccionado por la mecánica estadística por aplicación de la estadística de distribución de Fermi-Dirac (elaborada de forma independiente por ambos físicos) a los electrones por primera vez en 1928 por Sommerfeld.

Posteriormente surge la teoría de bandas, más amplia que la anterior, al permitir realizar un estudio general del estado sólido y explicar las propiedades particulares de los metales y no metales sólidos. Esta teoría se basa en la existencia de bandas electrónicas dadas por las funciones introducidas por el suizo, nacionalizado norteamericano Felix Bloch (1905-1983) y en el uso del potencial dado por el alemán-norteamericano Ralph Kronig (1904-1995) y el británico William George Penney (1909-1991) en 1930 para poder integrar la ecuación de Schrödinger. En Física del estado sólido, el modelo de Kronig-Penney describe los estados de energía de un electrón perteneciente a un cristal. Para esto supone que la estructura cristalina configura un potencial periódico, de cambios abruptos que, si bien es hipotético, es de gran ayuda en los cálculos. El gran éxito de la teoría de bandas es el dar una explicación satisfactoria de las propiedades conductoras de las sustancias solidas, clasificándolas en conductoras, semiconductoras y aislantes.



La escala de electronegatividades de Pauling asigna un valor de electronegatividad a la mayoría de los elementos químicos. Este valor, es una medida de la fuerza con que los átomos de una molécula se atraen entre sí.

Fuerzas de Van der Waals
 El término incluye:

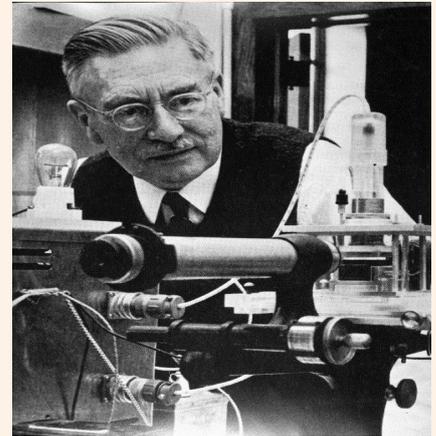
- Fuerzas dipolo permanente-dipolo permanente o fuerzas de Keesom, en honor al holandés Willem Hendrik Keesom (1876-1956), que las describe en 1921.
- Fuerzas dipolo permanente-dipolo inducido o fuerzas de Debye, en honor a Peter Debye.
- Fuerzas dipolo inducido instantáneo-dipolo inducido o fuerza de dispersión de London, en honor a Fritz London.



4. La Químico-física en el siglo XX.

El empuje dado a la Química-física en este siglo se debe fundamentalmente a dos hombres, Gilbert Newton Lewis y Peter Debye.

La primera gran labor del norteamericano Lewis fue la de introducir la Termodinámica como una asignatura más en los programas de Química de la Universidad Norteamericana. Su libro de texto, publicado en 1923 con el título "Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances", es, sin duda, un libro clásico sobre la mencionada materia y clarifica enormemente la Termodinámica-química de Gibbs para el beneficio del estudiante. En su libro, Lewis presenta una serie de nuevos conceptos tales como el de actividad, que resulta ser mucho más útil para el cálculo de velocidades de reacción y para problemas de equilibrio químico que el antiguo concepto de concentración. Asimismo modifica y hace más exacta la ley de acción de masas de Guldberg y Waage.



Peter Debye.

Después de estudiar el enlace químico, Lewis se dedica a la búsqueda del isótopo pesado del hidrógeno, cuya existencia se sospechaba enormemente. En esto se le anticipa el también químico norteamericano Harold Clayton Urey (1893-1981) en 1932, sin embargo, en 1933, Lewis es el primero en preparar una muestra de agua pesada, y dicho descubrimiento tiene un importante papel una década más tarde como moderador de neutrones, frenándolos y haciéndolos más eficaces en la producción de reacciones en cadena y facilitando el camino hacia la bomba atómica.

Posteriormente se preparan compuestos bioquímicamente significativos por sustitución del hidrógeno por deuterio, gracias al alemán, nacionalizado norteamericano, Rudolf Schoenheimer (1898-1941), quien en 1935 introduce la utilización de los trazadores isotópicos en la investigación bioquímica, lo que abre el camino hacia la clarificación de los complicados mecanismos de las reacciones químicas de los tejidos vivos.



Søren Peter Lauritz Sørensen.

Peter Debye, después de su trabajo sobre los momentos dipolares, prosigue la labor de Arrhenius sobre la disociación de los electrólitos en las disoluciones y en 1923 desarrolla con el alemán Erich Hückel (1896-1980) la teoría matemática de la interpretación moderna de las propiedades de las disoluciones, demostrando que las ideas del danés Niels Bjerrum (1879-1958) sobre la solvatación de las sales en solución son ciertas. Otro danés importante es Søren Peter Lauritz Sørensen (1868-1939), que introduce en 1909 el concepto de pH, lo que simplifica muchas representaciones matemáticas y gráficas y facilita el poder abarcar y entender numerosas relaciones de la Química.

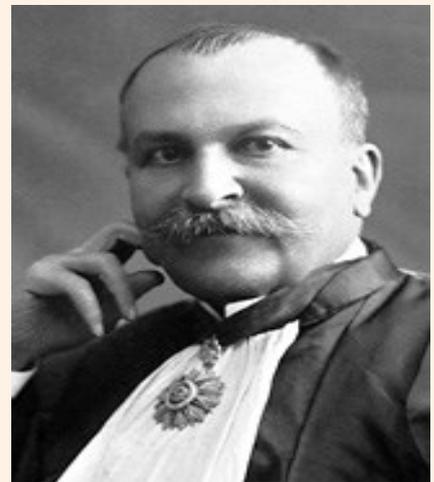


El danés Johannes Nicolaus Brønsted (1879-1947) se interesa por la Química-termodinámica y sus contribuciones rivalizan con las de Lewis. Sus estudios de cómo los ácidos y las bases catalizan las reacciones químicas empiezan en 1921 y le llevan a clarificar las ideas de lo que es un ácido y una base. Puesto que las propiedades de los ácidos y de las bases son opuestas en muchos aspectos, Brønsted considera más oportuno dar definiciones que sean también opuestas entre sí. En 1923, Brønsted sugiere que si los ácidos son sustancias que desprenden iones hidrógeno en solución, las bases deben ser sustancias capaces de absorber dichos iones en solución. El desarrollo de su teoría conduce a la definición del concepto de sistema ácido-base conjugado y a su conocimiento como teoría de Brønsted-Lowry, al haber sido generalizada de forma independiente por ambos químicos, pues mientras Brønsted es danés, Thomas Martin Lowry (1874-1936) es inglés y trabajan de forma separada. Aunque Lewis introduce un concepto de ácido y base todavía más amplio, no tiene la aplicación de la teoría de Brønsted-Lowry, por carecer de desarrollo matemático. Lewis desarrolla su teoría de los ácidos y las bases en 1938 en función de la aceptación o cesión de pares de electrones, por tanto su teoría elimina la posición única del protón de la teoría de Brønsted-Lowry. En 1939 el ruso Michail Usanovich (1894-1981) desarrolla una teoría de ácidos y bases que incluye las anteriores.



Brønsted y Lowry.

El noruego-norteamericano Lars Onsager (1903-1976) aplica la teoría de Debye-Hückel para ver su efecto en las propiedades coligativas y en las velocidades de los iones. Sus cálculos explican el por qué en disoluciones diluidas los electrólitos fuertes se encuentran completamente disociados y justifica las propiedades coligativas de las disoluciones salinas. En Estados Unidos, Onsager ocupa la cátedra de Química-teórica de Gibbs y es un digno sucesor suyo, que trabaja en los procesos irreversibles, pudiéndose decir que Onsager es el padre de la termodinámica de los procesos irreversibles, al formular una expresión matemática general para explicar el comportamiento de los procesos irreversibles, que se ha llegado a considerar como la cuarta ley de la termodinámica, respecto de la cual deduce las relaciones que llevan su nombre.



Paul Sabatier.

En el campo de la cinética química hay que resaltar al francés Paul Sabatier (1854-1941), quien en 1897 alcanza fama por el fracaso de su experimento, al tratar de obtener un compuesto químico volátil de níquel por adición de un etileno, que tiene un enlace doble como el monóxido de carbono y quizá se comportase de la misma manera que en la formación del carbonilo de níquel, uno de los escasos compuestos químicos volátiles del níquel. El experimento falla al no obtenerse ningún compuesto químico volátil, pero Sabatier analiza el resultado de la reacción y observa que aparece etano y concluye que el níquel actúa como catalizador, haciendo que se incorpore el hidrógeno al etileno para formar el etano.



Sabatier se dedica el resto de su vida profesional al estudio de las hidrogenaciones catalíticas y su trabajo es muy fructífero, al reemplazar el platino o el paladio, muy caros, por el níquel como catalizador, que es mucho más barato.

De esta forma se saca las reacciones de hidrogenación del laboratorio y se llevan al campo industrial. Con la catálisis del níquel se hace posible obtener grasas comestibles, como la margarina y mantequillas a partir de plantas no comestibles, y aceites como el de la semilla de algodón, en cantidades y precios no igualados hasta entonces.

El médico alemán-norteamericano Leonor Michaelis (1875-1949) dedicó su interés primordial en aplicar los principios físico-químicos a las reacciones bioquímicas.

En 1912 estudia junto con la canadiense Maude Leonora Menten (1879-1960) el comportamiento de las enzimas según las reglas de la cinética química y llegan a una ecuación que describe la variación de la velocidad de una reacción química catalizada por una enzima con la concentración de la sustancia sustrato de la reacción.



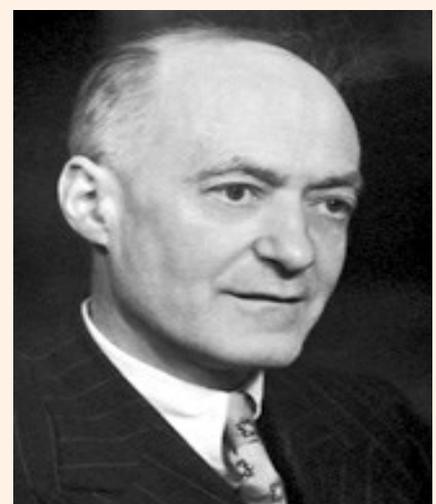
Leonor Michaelis y Maude Menten.

Dicha ecuación recibe el nombre de ecuación de Michaelis-Menten y para llegar a la misma se postula la formación de un complejo entre la enzima y el sustrato anterior a la reacción, complejo para el cual no hay evidencia directa hasta casi medio siglo después, gracias al trabajo del norteamericano Britton Chance (1913-2010) sobre la acción de la enzima peroxidasa como catalizador de la oxidación de numerosos compuestos orgánicos por el peróxido de hidrógeno.

La ecuación de Michaelis-Menten despoja a las enzimas de su atributo de nombre misterioso para situarlas en un nivel donde, al menos están sujetas a los mismos razonamientos matemáticos que las sustancias químicas corrientes y los trabajos de Chance fueron han sido de una gran utilidad para los bioquímicos, al aclarar la actividad de las enzimas y permitir, por tanto, la conexión entre las enzimas y los ácidos nucleicos, que en la década de 1950 se estaba comenzando a aclarar.

Los estudios básicos sobre los mecanismos de reacción se deben al ruso Nikolái Semiónov (1896-1986) y al inglés Cyril Norman Hinshelwood (1897-1967). Ambos comparten el premio Nobel de Química en 1956 por sus trabajos sobre los mecanismos de reacción, pero lo hacen de forma independiente.

Semiónov trabaja durante la década de 1930 sobre la cinética química, en 1934 publica su libro "Reacciones en Cadena" y su tarea fue especialmente intensa durante la Segunda Guerra Mundial, cuando los problemas de combustión y explosión adquieren una extraordinaria importancia, des arrollando una teoría sobre las explosiones térmicas.



Hinshelwood.



Por su parte, Hinshelwood inicia en la década de 1920 sus investigaciones y trata de explicar el mecanismo de las reacciones químicas por métodos cinéticos. Parte del hecho de que la velocidad de una reacción química sirve para deducir los mecanismos por medio de los cuales tiene lugar la reacción, y para ello analiza diversas reacciones como la aparentemente tan sencilla entre el hidrógeno y el oxígeno para formar agua, con la que explica fenómenos de reacción en cadena y el hecho de que a cierta temperatura, una mezcla de hidrógeno y de oxígeno puede ser explosiva. En 1926 publica su trabajo sobre la cinética de los cambios químicos en sistemas gaseosos, y en 1934 el referido a la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno.

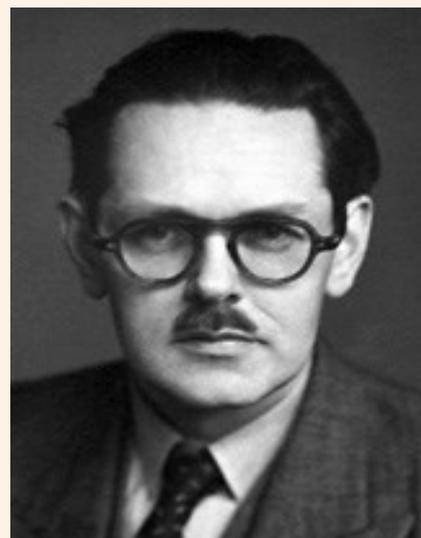
La introducción de la cromatografía se debe al ruso Mikhail Tsvett (1872-1920), quien en 1906 tiene su gran inspiración al permitir que una mezcla de pigmentos caiga dentro de un tubo que contiene alúmina en polvo. Las diferentes sustancias de la mezcla de pigmentos se adhieren a la superficie del polvo con diferente grado de fuerza, y al lavar la mezcla, ésta se separa en bandas coloreadas, dando Tsvett el nombre de cromatografía a dicha técnica. La publicación en ruso no produce interés y su trabajo es olvidado hasta que el alemán Richard Willstätter (1872-1942) reintroduce la técnica de Tsvett después de su muerte, cobrando una gran importancia con el paso del tiempo.



Mikhail Tsvett.

La técnica de la cromatografía en manos de los ingleses Archer Martin (1910-2002) y Richard Synge (1914-1994) adquiere un éxito inmediato a partir de 1944, al aplicar la técnica de la cromatografía de partición a todo tipo de mezclas, y con dicha técnica determinan, además, un número importante de aminoácidos contenidos en las moléculas proteicas, lo que permite posteriormente al inglés Frederick Sanger (nacido en 1918) el desarrollar el orden exacto de los aminoácidos contenidos en la molécula de insulina. En 1953 el propio Archer Martin, de forma independiente, consigue dar con la técnica adecuada de la cromatografía de gases, que ha resultado ser tan útil como la de papel.

Otro método importante de separación y purificación es el de intercambio de iones mediante resinas de intercambio iónico debido al norteamericano de origen canadiense Frank Harold Spedding (1902-1984), quien lo utilizó para separar y purificar los elementos químicos de las tierras raras en la década de 1940.



Archer Martin.

La química de las superficies aparece con Irving Langmuir, quien además de su aportación al campo de la teoría del enlace, es muy importante su contribución como químico industrial. Su interés por producir el vacío dentro de las viejas bombillas eléctricas, le llevó a descubrir métodos para producir tubos de alto vacío, que resultaron ser esenciales para las emisoras de radio.



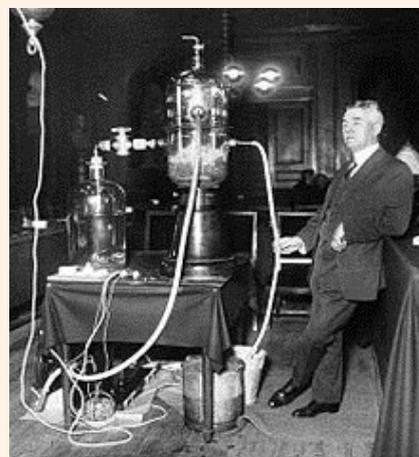
Langmuir estudia los efectos relacionados con las películas gaseosas que recubren los filamentos metálicos y deduce cómo los átomos pueden formar uniones unos con otros, lo que le lleva a la teoría del enlace químico, por un lado, y por otro a la Química superficial. Langmuir descubre que algunas sustancias pueden formar películas sobre el agua, de espesor igual al de una molécula, y es el primero en estudiar tales películas monomoleculares.

La química de los gases nobles se inicia con el uso del tubo fluorescente. Hay que decir que las bombillas de filamento no son el final del progreso de la iluminación, pues las investigaciones del francés Georges Claude (1870-1960), iniciadas en 1910, le llevan a descubrir los tubos fluorescentes, al demostrar que las descargas eléctricas a través de los gases nobles pueden producir luz, y este fue el principio de las luces de neón que hacen rico a Claude. En la década de 1930 dichos tubos se revisten internamente con materiales fluorescentes para producir una luz blanca aceptable para el uso en casas y fábricas. Después de la segunda guerra mundial las luces fluorescentes empiezan a sustituir a las viejas bombillas incandescentes, introducidas por Edison tres cuartos de siglo antes.



Irving Langmuir.

El químico norteamericano de origen inglés Neil Bartlett (1932-2008), estudiando el hexafluoruro de platino ve que es un compuesto químico de una gran actividad, tanta que los cálculos teóricos indican que, posiblemente, podría reaccionar incluso con los gases nobles. Y así, en 1966, Bartlett consigue hacer reaccionar el xenón con dicho fluoruro y otros químicos consiguen reacciones químicas con otros gases nobles como el radón y el kriptón. De esta forma se trastoca todo el pensamiento anterior acerca del comportamiento de los gases nobles, aunque en realidad estos descubrimientos encajan perfectamente con la teoría química y habían sido vaticinados por Pauling hacía treinta años antes.



Georges Claude.

En cuanto a la naturaleza de los compuestos de coordinación surge la teoría de campo cristalino (TCC), que es un modelo teórico que describe la estructura electrónica de aquellos compuestos químicos de los metales de transición que pueden ser considerados compuestos de coordinación. La teoría de campo cristalino explica algunas de las propiedades magnéticas, colores, entalpías de hidratación y estructuras octaédricas de los complejos de los metales de transición, pero no acierta a describir las causas del enlace. La TCC es desarrollada por el alemán-norteamericano Hans Bethe (1906-2005) y el norteamericano John Hasbrouck van Vleck (1899-1980) en la década de 1930 y es posteriormente combinada con la teoría de orbitales moleculares para producir la teoría del campo de ligandos, que es una teoría un poco más compleja pero está más ajustada a la realidad, ya que se adentra además en la explicación del proceso de formación del enlace químico en los complejos metálicos.



5. Los congresos Solvay.

Los Congresos o Conferencias Solvay son una serie de conferencias científicas celebradas desde 1911 que reúnen a los más grandes físicos y químicos de la época y son organizados gracias al mecenazgo del químico e industrial belga Ernest Solvay (1838-1922).

La primera conferencia se celebra en octubre de 1911 en el glamuroso, estilo Art Decó, Hotel Métropole de Bruselas. Las espectaculares escaleras de mármol de su vestíbulo son recorridas por los científicos europeos más famosos y de mayor prestigio de inicios del siglo XX. Hay que situar esta conferencia en su contexto histórico.

A principios del siglo XX, el edificio de la Física clásica veía como se tambaleaban sus cimientos ante el huracán de la Teoría de la Relatividad y el tornado de la Física Cuántica. Conocedor de toda esta ebullición científica, Solvay patrocina su congreso de 1911, para analizar los últimos avances en las teorías moleculares y cinéticas y para poder dilucidar algunas cuestiones sobre los nuevos modelos atómicos que estaban surgiendo.



Solvay patentó un exitoso procedimiento para la fabricación industrial de la sosa (que es necesaria, entre otras cosas, para la fabricación del vidrio, de detergentes y en metalurgia), lo que le produjo unos enormes beneficios que dedicó, en parte, a fomentar el estudio y el avance de la ciencia de su época.



Hotel Métropole.

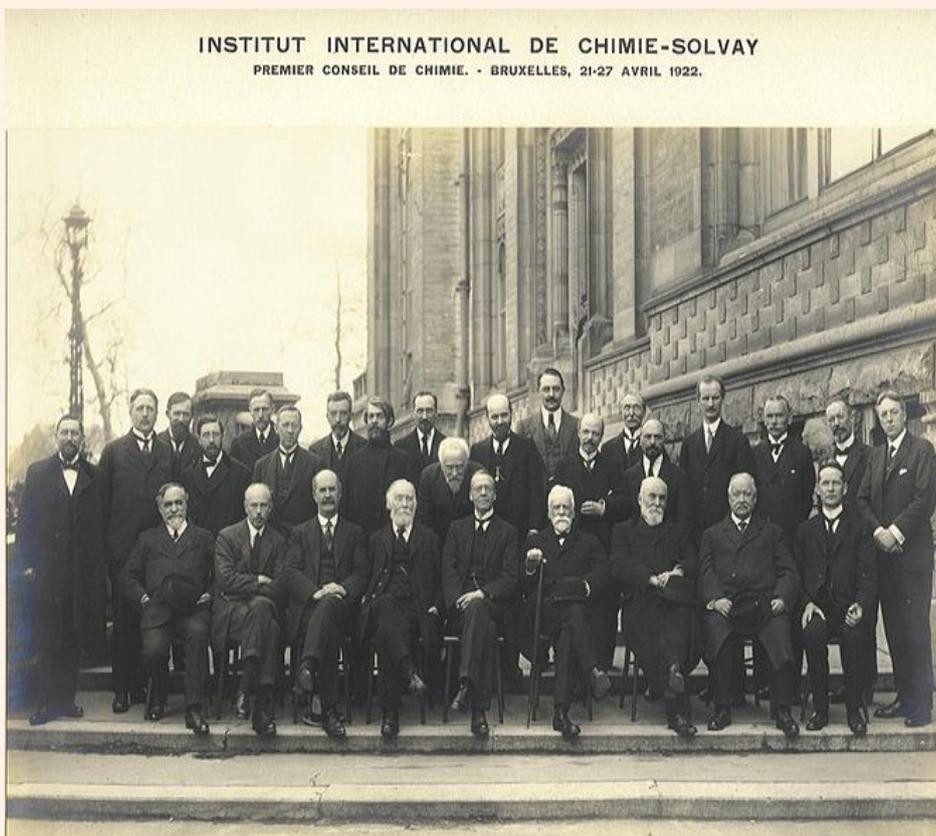


El presidente del primer congreso de 1911 fue Hendrik Lorentz y el tema fue “La teoría de la radiación y los Cuantos”. Tras el éxito de esta primera conferencia, en 1912 se fundan los Institutos Internacionales Solvay para la Física y la Química, situados en Bruselas y se encargan de coordinar las Conferencias Solvay, que se han dedicado a problemas abiertos tanto en la Física como en la Química.

La más famosa de todas las Conferencias fue la Quinta de Física de 1927, por la gran cantidad de premios Nobel que acudieron, pues diecisiete de los veintinueve asistentes eran o llegaron a ser ganadores de Premio Nobel. Dicha Conferencia trató sobre “Electrones y Fotones”. Después de la Segunda Guerra Mundial las Conferencias se retoman, pero ya no son tan íntimas y se convierten en una serie de actos multitudinarios con recepciones en la Casa Real Belga y donde el científico ya no es un invitado sino que se inscribe pagando una cuota. Pero, sin lugar a dudas, las Conferencias Solvay son unas reuniones científicas del mayor nivel que existen y todas se destinan a abordar cuestiones de palpitante actualidad.

De las 27 conferencias de Física que se han organizado hasta 2017, siete se producen antes de la Segunda Guerra Mundial. La de 2011 se dedica a “La Teoría del Mundo Cuántico” y coincide con el cien aniversario de la Primera Conferencia Solvay.

En cuanto a la Química, la primera Conferencia Solvay se celebra en 1922 bajo el nombre de “Cinco preguntas de actualidad” y la última hasta la fecha de 2016 es la 24ª Conferencia, que se dedica a “Catálisis en Química y Biología”.



Instituto Internacional de Química-Solvay: Primer Congreso de Química celebrado en Bruselas entre el 21 y 27 de abril de 1922.

En la fila de abajo, sentados, comenzando por la izquierda el segundo es Aston, el tercero Bragg padre, el sexto Solvay el octavo Arrhenius y el noveno Soddy.



Listado de Conferencias Solvay de Física

Nº	Año	Título	Nº	Año	Título
1	1911	La teoría de la Radiación y los cuantos	15	1970	Propiedades de simetría de núcleos
2	1913	La estructura de la materia	16	1973	Astrofísica y Gravitación
3	1921	Átomos y electrones	17	1978	Orden y fluctuaciones en equilibrio y no equilibrio mecánica-estadística
4	1924	Conductividad eléctrica de los metales y problemas relacionados	18	1982	Altas energías en física
5	1927	Electrones y fotones	19	1987	Ciencia de superficies
6	1930	Magnetismo	20	1991	Óptica cuántica
7	1933	Estructura y propiedades de los núcleos atómicos	21	1998	Sistemas dinámicos e irreversibilidad
8	1948	Las partículas elementales	22	2001	La física de la comunicación
9	1951	El estado sólido	23	2005	La estructura cuántica del espacio y el tiempo
10	1954	Los electrones en los metales	24	2008	Teoría cuántica de la materia condensada
11	1958	Estructura y evolución del universo	25	2011	La teoría del mundo cuántico
12	1961	La teoría cuántica de campo	26	2014	Astrofísica y Cosmología
13	1964	Estructura y evolución de las galaxias	27	2017	La física de la materia viva: espacio, tiempo e información en biología
14	1967	Los problemas fundamentales de la física de partículas elementales			



Listado de Conferencias Solvay de Química

Nº	Año	Título	Nº	Año	Título
1	1922	Cinco preguntas de actualidad	13	1965	La reactividad de la molécula orgánica fotoexcitada
2	1925	Estructura y actividad química	14	1969	Transiciones de fase
3	1928	Preguntas de actualidad	15	1970	Las interacciones electrostáticas y estructura del agua
4	1931	Constitución y configuración de las moléculas orgánicas	16	1976	Movimientos moleculares y reactividad química condicionada por membranas, enzimas y otras mo-
5	1934	El oxígeno; reacciones químicas y biológicas	17	1980	Aspectos de la evolución química
6	1937	Vitaminas y hormonas	18	1983	Diseño y síntesis de moléculas orgánicas basadas en el reconocimiento molecular
7	1947	Isótopos	19	1987	Ciencia de superficies
8	1950	El mecanismo de oxidación	20	1995	Reacciones químicas y su control en la escala de tiempo femtosegundo
9	1953	Proteínas	21	2007	De uniones no covalentes a máquinas moleculares
10	1956	Algunos problemas de química inorgánica	22	2010	Efectos cuánticos en Química y Biología
11	1959	Nucleoproteínas	23	2013	Nueva química y nuevas oportunidades de expandir el universo
12	1962	Transferencia de energía en los gases	24	2016	Catálisis en Química y Biología



6. El desarrollo del instrumental analítico.

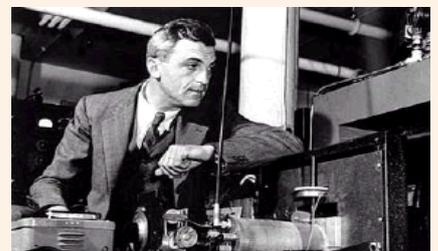
Dentro del amplio abanico de aparatos instrumentales existentes, los de mayor aplicación y éxito en el estudio y análisis de las sustancias químicas a partir de la segunda mitad del siglo XX son los siguientes: el microscopio electrónico, la técnica de la resonancia magnética nuclear, la espectrometría de masas y el secuenciador automático de ADN.

a) El alemán Ernst Ruska (1906-1988) es quien elabora los principios del microscopio electrónico y trabajando para la empresa Siemens AG diseña el microscopio electrónico, cuyo primer prototipo es de 1939. Los modernos microscopios electrónicos son capaces de ampliar la imagen del objeto unos dos millones de veces y se fundamentan en las propuestas técnicas de Ruska. En la década de 1960, una nueva generación de microscopios fue propuesta por el suizo Heinrich Rohrer (nacido en 1933) y el alemán Gerd Binnig (nacido en 1947). En 1963 Rohrer entra a formar parte del laboratorio de investigación de la empresa IBM en Zúrich, donde conoce a Gerd Binnig, con el cual inicia investigaciones acerca de los microscopios ópticos y electrónicos y ambos desarrollan el microscopio de efecto túnel que permite ver átomos individualmente, obteniendo una imagen muy precisa de la superficie de un material, es decir con esta técnica se pueden detectar imágenes con resolución atómica. La posibilidad que brinda la microscopía electrónica se aprovecha para obtener imágenes tridimensionales de virus, proteínas y enzimas. En este propósito sobresale el británico de origen lituano Aaron Klug (nacido en 1926), que en la década de 1970 descifra los complejos proteínicos del ácido nucleico y de la combinación de imágenes tomadas en diferentes ángulos realiza reconstrucciones tridimensionales de algunas proteínas.



Microscopio electrónico de Ruska.

b) Otra contribución extraordinaria al campo del análisis estructural de las sustancias orgánicas es la realizada a partir de 1945 por Felix Bloch, al desarrollar la resonancia magnética nuclear (RMN). Pronto esta técnica se difunde por los laboratorios de investigación, contribuyendo de manera especial a este esfuerzo de expansión el suizo Richard Ernst (nacido en 1933), por el diseño y construcción de una nueva generación de equipos de alta resolución, a partir de la década de 1960, y el desarrollo paralelo de la teoría para ampliar el alcance de su aplicación. Un nuevo salto se produce a partir de la década siguiente cuando el suizo Kurt Wüthrich (nacido en 1938) desarrolla la idea de cómo extender la técnica de resonancia magnética nuclear al estudio de las proteínas. En muchos aspectos el método de RMN complementa la cristalografía de rayos X, pero presenta la ventaja de estudiar moléculas gigantes, como las de las proteínas en solución, es decir en un medio que se asemeja a cómo ellas se encuentran y cómo funcionan en los organismos vivos.



Felix Bloch.



c) La espectrometría de masas es una potente técnica analítica. El inicio de su aplicación data del registro de los espectros de masas de moléculas sencillas de baja masa molecular obtenidas por el inglés J.J. Thomson (1856-1940) en 1912. Los primeros espectrógrafos siguen los mismos principios básicos de los empleados hoy día y son desarrollados por el inglés Francis William Aston (1877-1945), que descubre un gran número de isótopos. En la década de 1940 ya se habían fabricado espectrómetros para analizar sustancias orgánicas de masa molecular media. En la década de 1970 el perfeccionamiento de los equipos alcanza una sensibilidad tal que permiten trabajar con masas de muestras del orden de una millonésima de gramo.



Espectrómetro de masas.

La aplicación de la espectrometría de masa acoplada a la cromatografía de gases, que es una técnica capaz de separar componentes de una muestra, se extiende en la actualidad al análisis de sustancias dopantes, el control de alimentos y los ensayos ultrarrápidos para determinar los niveles de contaminación ambiental.

Con todo y ello, la espectrometría de masas no servía para determinar estructuras de moléculas gigantes como las de los biopolímeros más importantes, porque la primera etapa de la técnica exige el paso de las macromoléculas a la fase gaseosa, lo cual implica la ocurrencia de indeseables transformaciones estructurales que empañan los resultados. El problema lo resuelve en 1888 el estadounidense John Bennett Fenn (1917-2010), al proponer un procedimiento para burlar este obstáculo, denominado método ESI (Electro Spray Ionization), técnica que sirve para detectar y analizar proteínas, lo que permite comprender mejor los procesos vitales y aumentar rápidamente la velocidad con la cual los nuevos compuestos farmacéuticos complejos pueden ser evaluados, conduciendo directamente al desarrollo de las medicaciones para detener el avance del sida (inhibidores de proteasa) desarrolladas en la década de 1990.

d) Los métodos automáticos de secuenciación de ADN. A finales de la década de 1970 se desarrollan los métodos que permiten determinar la secuencia nucleotídica de cualquier fragmento de ADN siguiendo los pasos empleados en la secuenciación de proteínas, pero no es fácil de realizar en el caso de los ácidos nucleicos. En abril de 1983, el norteamericano Kary Mullis (nacido en 1944) da a conocer la técnica de reacción en cadena de la polimerasa, o PCR. Esta técnica ha invadido la Biología Molecular y hoy en día es difícil imaginar esta ciencia sin ella. Gracias a la PCR, la insuficiente cantidad de ADN ya no es una limitación en la investigación en Biología Molecular, ni en los procedimientos de diagnóstico basados en el estudio del ADN. En 1989 aparecen las primeras máquinas automáticas de secuenciación de ADN. Se marcan a las moléculas de forma radiactiva o fluorescentemente y luego se realiza una separación por electroforesis con un láser o en geles desnaturizantes de los trozos obtenidos. El disponer de tales secuenciadores ha sido vital para determinar la secuencia del genoma humano.

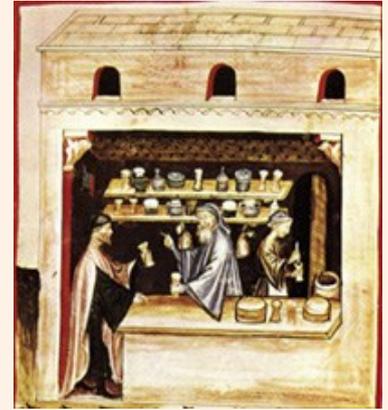


Secuenciador automático de ADN.



7. La Bioquímica.

La idea de que las reacciones químicas se producen también en el interior de los seres vivos es muy antigua. Platón en el Tímeo y Aristóteles en el libro cuarto de su Meteorología tratan de Fisiología tanto como de Física o de Química. Gran parte de los químicos medievales y de los siglos XV y XVI fueron médicos en ejercicio y aunque en esta época se hacen numerosos descubrimientos prácticos de naturaleza bioquímica, tienen poca trascendencia porque no hubo interrelación entre los estudios de los diferentes investigadores y sus trabajos fueron superficiales y esporádicos. A final del siglo XVIII se hacen algunos descubrimientos fundamentales sobre la fotosíntesis en las plantas verdes y sobre el consumo de oxígeno en la respiración animal. Pero en ellos no hay un esfuerzo sistematizado y no se llega a comprender su importancia para la química de la vida.



Botica medieval.

Los químicos del siglo XIX están tan ocupados que no intentan sistematizar la química de los procesos biológicos y desde el campo de la Bioquímica, el resultado más importante del desarrollo de la Química Orgánica es la demostración de que los compuestos orgánicos naturales obedecen las mismas leyes que los productos inorgánicos, con el consiguiente debilitamiento de las teorías vitalistas. Mientras tanto, la Fisiología se va desarrollando como ciencia independiente y son los fisiólogos quienes realizan la mayor parte de los avances en Bioquímica, al estudiar el funcionamiento de los diferentes órganos corporales, aunque sin lograr una visión global del funcionamiento bioquímico del cuerpo, porque el método que siguen está ligado a los estudios sobre determinados órganos o sistemas. Solamente al filo del cambio de siglo se empieza a obtener una imagen unificada de los procesos químicos en el interior de las células y de su importancia para el organismo en general. El campo de conocimientos fronterizos entre Química y Fisiología pasa a ser una ciencia independiente, la Biología o Química de la Vida.

En el primer tercio del siglo XIX se tiene la idea de que la dieta alimenticia debe incluir hidratos de carbono, grasas y albuminoides o proteínas. A mediados del siglo XIX se esclarece el papel que tienen en la digestión de los alimentos el ácido clorhídrico y los diversos fermentos contenidos en la saliva, el jugo gástrico y el jugo pancreático. El alemán Emil Fischer (1852-1919), después de su descubrimiento de la fenilhidracina en 1876, le lleva a la síntesis de una serie de azúcares, siendo su mayor éxito la síntesis de la glucosa, de la fructosa y de la manosa en 1890. A partir de 1899 se interesa por las proteínas. Se sabía que por hidrólisis ácida se desdoblaban en alfa-aminoácidos, y Fischer demuestra que éstos se hallan unidos unos a otros mediante el enlace que llamó peptídico entre el grupo amino de uno de ellos y el grupo ácido de otro.



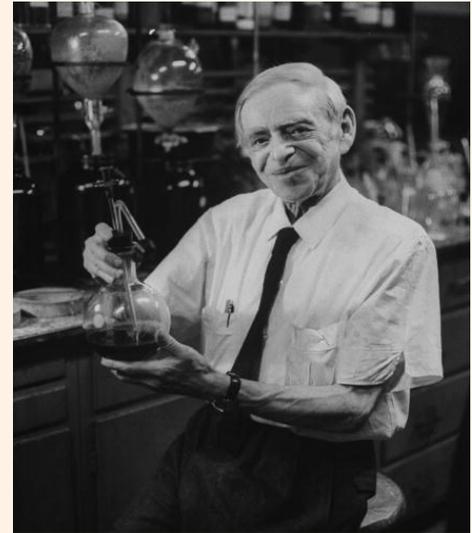
Emil Fischer.



Los estudios sobre la relación entre la dieta alimenticia y la aparición, curación o prevención de ciertas enfermedades comienzan a finales del siglo XIX. En 1912 el polaco nacionalizado norteamericano Casimir Funk (1884-1967) postula la existencia de una sustancia llamada vitamina al estudiar que las poblaciones que consumen arroz integral tienen son menos proclives a contraer beriberi.

Antes de la Segunda Guerra Mundial las principales vitaminas están esclarecidas y sus rutas de síntesis también. En dicha tarea destacan Richard Kuhn y Adolf Windaus. En concreto, el austriaco-alemán Richard Kuhn (1900-1967) en su trabajo sobre la constitución de los distintos tipos de carotenos y la síntesis de vitamina A, y sobre esta base se forma un grupo de científicos alemanes que aíslan las vitaminas B2 y B6.

El alemán Adolf Windaus (1876-1959), que había quedado fascinado con las conferencias de Emil Fischer en Berlín, descubre la constitución de los esteroides y su relación con las vitaminas. En 1919, deja patente el vínculo entre los esteroides y los ácidos biliares, al conseguir transformar el colesterol en ácido colánico, que había sido aislado de los ácidos biliares por el alemán Heinrich Otto Wieland (1877-1957). En 1931, Windaus obtiene la vitamina D cristalizada, y es la primera vez que se aísla una vitamina de forma pura. También trabaja sobre los derivados del imidazol, lo que le lleva a descubrir la histamina.



Casimir Funk.

El término vitamina proviene del latín vita: vida y amina: necesario para la vida

Aunque las vitaminas no son aminas y el término puede llevar a confusión, el mismo se mantiene.

En 1902 los ingleses Ernest Henry Starling (1866-1927) y William Maddock Bayliss (1860-1924) descubren que el páncreas segrega su jugo digestivo cuando es estimulado por una sustancia obtenida por el intestino delgado. Sugieren que se llame hormona (del griego excitar actividad) a los productos de secreción interna que, transportados por la sangre, inducen la actividad de algún órgano, y de esta forma se abre otra línea de trabajo en el campo de la Bioquímica. En la década de 1920 y 1930 se aísla, analiza y sintetiza varias docenas de hormonas procedentes de diversas glándulas y que tienen en el organismo funciones variadas. Para dar una idea de la asombrosa actividad de aquella época basta indicar que un sólo investigador, el norteamericano Edward Calvin Kendall (1886-1972), después de haber aislado en 1919 en forma cristalina la hormona de la glándula tiroides, a la que llama tiroxina, continúa posteriormente con el estudio de las hormonas de la corteza de las glándulas suprarrenales y elabora, junto a otros científicos, rutas sintéticas que conducen al aislamiento de 28 hormonas diferentes y a una serie de esteroides para producir compuestos químicos de dicha familia.

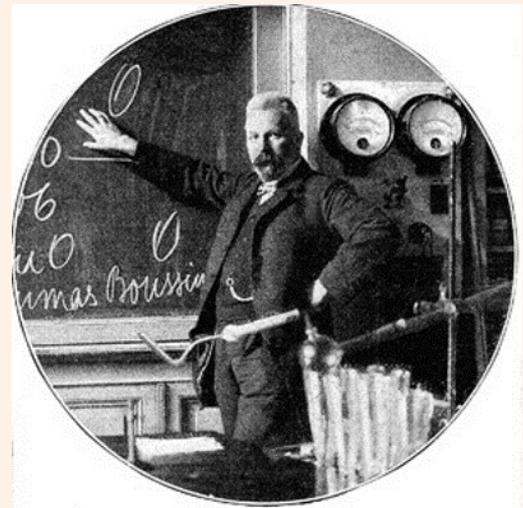
El discípulo de Windaus, Adolf Butenandt (1903-1995) se abre paso en el campo de las hormonas sexuales humanas, de forma que en 1929 aísla el estrógeno, la androsterona en 1931 y la progesterona y testosterona en 1934, determinando, así mismo, las relaciones entre éstas y los esteroides.



Respecto a las enzimas, en 1833 el francés Anselme Payen (1795-1871) separa del extracto de malta una sustancia que acelera la conversión del almidón en azúcar y la llama diastasa. Tres años después el alemán Theodor Schwann (1810-1882) encuentra la pepsina. Estos son los primeros fermentos aislados, el uno de tejidos vegetales y el otro de tejidos animales. En 1876 es aislada la tripsina por el alemán Willy Kühne (1837-1900), quien además emplea el término de enzima para designar a estas sustancias que actúan fuera de las células, dejando el nombre de fermento para las sustancias que intervienen en el interior de las células y actúan en reacciones químicas relacionadas con la vida.

El alemán Eduard Buchner (1860-1917) creía que las fermentaciones son procesos inseparables de la vida, y para ello desarrolla en 1896 un experimento destinado a comprobar dicha hipótesis y logra demostrar todo lo contrario de lo que se proponía, evidenciando que los procesos químicos que se efectúan en el interior de las células no necesitan el concurso de ninguna fuerza vital y desde entonces se llaman enzimas a todos los fermentos.

En las primeras décadas del siglo XX se descubre la existencia y papel de las coenzimas, se pone en claro que si las vitaminas son indispensables para el buen funcionamiento del organismo es porque forman parte de alguna coenzima, se conoce la necesidad de los fosfatos para mantener la actividad de las levaduras y se desarrollan los estudios sobre el metabolismo celular. Poco a poco se pone de manifiesto que todas las reacciones químicas de los organismos vivos están catalizadas por enzimas y con Michaelis queda claro que las enzimas están sujetas a razonamientos matemáticos y se puede afirmar que son sustancias químicas corrientes.



Eduard Buchner.

En 1926 el norteamericano James Batcheller Sumner (1887-1955) extrae de la alubia la ureasa, la primera enzima aislada y cristalizada en forma pura. En 1929, el también norteamericano John Howard Northrop (1891-1987) aísla y cristaliza la pepsina en 1930 y determina sus propiedades. Más tarde, en colaboración con el ruso nacionalizado norteamericano Moses Kunitz (1887-1978), cristaliza la tripsina y la quimotripsina, y, en el transcurso de las investigaciones aísla el pepsinógeno y el tripsinógeno. De esta forma, con los trabajos de Sumner y Northrop las enzimas dejan de ser sustancias misteriosas y se convierten en compuestos químicos de naturaleza química conocida. Asimismo, en 1938 Northrop aísla y cristaliza el primer bacteriófago, un pequeño virus parásito que ataca bacterias, determinando que se trataba de una nucleoproteína.

La Segunda Guerra Mundial detiene estas investigaciones fundamentales y a partir de entonces cuando la Química alemana pierde su liderazgo y deja el protagonismo a los británicos y, sobre todo, a los norteamericanos, que inician el propósito más ambicioso de la Química Moderna, el encontrar la relación íntima entre la estructura molecular de los complejos productos orgánicos y la función biológica que cumplen.



En este campo brilla la actividad de la química británica Dorothy Crowfoot Hodgkin (1910-1994), que emplea durante largos años el análisis de rayos X para la determinación de las configuraciones moleculares de diversos compuestos químicos de interés biológico. Así, en 1944 establece el detalle tridimensional de la estructura de la penicilina (publicado en 1949), que es una molécula inestable de inmensa importancia antibiótica durante y después de la Segunda Guerra Mundial. En 1956 determina la estructura tridimensional de la vitamina B12, para lo cual emplea uno de los primeros ordenadores digitales de alta velocidad para la interpretación de los espectros de rayos X y el correspondiente mapeo de las densidades electrónicas de las distintas zonas moleculares. En 1969 define la estructura de la insulina y los detalles de su estructura le ayudan a descifrar la función de esta hormona. Se puede afirmar que con cada nuevo descubrimiento, la doctora Hodgkin produce una expansión de la tecnología de la cristalografía por rayos X.

En el Laboratorio Cavendish de Cambridge es donde se realizan las investigaciones de Hodgkin y la de otros dos investigadores, el inglés John Cowdery Kendrew (1917-1997) y el austriaco nacionalizado británico Max Perutz (1914-2002), que obtienen vistas claras tridimensionales de la estructura molecular de la mioglobina y de la hemoglobina. La concentración de estrellas en el Cavendish incluye a quienes realizan descubrimientos esenciales en el estudio de las proteínas como Frederick Sanger y los que facilitan el ulterior desarrollo de la Ingeniería Genética y la Biología Molecular, como el inglés Francis Crick y el estadounidense James Dewey Watson, que describen el primer modelo de doble estructura helicoidal de los ácidos nucleicos.

Hay que decir que para acometer el estudio de las proteínas es necesario usar procedimientos muy diferentes a los empleados usualmente en Química Orgánica. La medida de la presión osmótica de sus disoluciones, la determinación de la velocidad de sedimentación en la ultracentrifugación, la hidrólisis y subsiguientes separaciones de los aminoácidos constituyentes por cromatografía y el bloqueo de un extremo de la molécula para que las reacciones químicas, tanto de degradación como de síntesis, se efectúen en el otro extremo, son ejemplos de técnicas nuevas aplicadas al estudio de las proteínas. Así el inglés Frederick Sanger, tras ocho años de trabajo, determina en 1953 el orden lineal de los aminoácidos en la molécula de la insulina y siete años después se esclarece completamente su estructura tridimensional. Se trata de una molécula relativamente pequeña formada por 51 unidades de aminoácidos de 17 especies diferentes y Sanger lo logra con ayuda del compuesto químico 2,4 dinitrofluorobenceno, llamado reactivo de Sanger y descubierto por él en 1945, para utilizarlo como agente bloqueante en sus experimentos. En 1958 dan a Sanger el premio Nobel de Química y a partir de entonces se logra conocer y sintetizar moléculas de proteínas más complejas.

Proteínas

Las proteínas son macromoléculas complejas en cuya composición pueden entrar unidades de hasta 24 aminoácidos diferentes, y las más pequeñas tienen una masa molecular relativa del orden de 13.000. Su manejo presenta ciertas dificultades específicas, pues con facilidad se desnaturalizan y cambian sus propiedades.



Frederick Sanger.



Linus Pauling sugiere hacia 1950 que las proteínas y los ácidos nucleicos tienen una estructura helicoidal por la existencia de enlaces por puentes de hidrógeno entre diversos puntos de las unidades estructurales. La composición química de las nucleoproteínas, en las que el grupo prostético es un ácido nucleico fue desentrañada a final del siglo XIX por el alemán Albrecht Kossel (1853-1927), al encontrar en la hidrólisis de los ácidos nucleicos las cinco famosas bases nitrogenadas y reconoce en los ácidos nucleicos la presencia de hidratos de carbono.



Albrecht Kossel.

En 1909 el ruso emigrado a Estados Unidos Phoebus Levene (1869-1940) demuestra que algunos ácidos nucleicos contienen ribosa y en 1929 encuentra un azúcar desconocido, al que llama desoxirribosa. Desde entonces los ácidos nucleicos se conocen como ácidos ribonucleicos y desoxirribonucleicos. También Levene descubre la manera de enlazarse los componentes de los ácidos nucleicos para formar nucleoprotidos y la de unirse estos eslabones para dar largas cadenas.

A partir de 1955, el escocés Alexander Robert Todd (1907-1997) inicia sus trabajos sobre los nucleótidos y las coenzimas y por dicha época el número de investigadores que se dedican a la Bioquímica es muy numeroso y los avances que se hacen son muchos y muy continuados.

El físico británico de origen neozelandés Maurice Wilkins (1916-2004), después de terminar la Segunda Guerra Mundial se dedica al estudio de la molécula de ADN por difracción de rayos X y sus estudios sirven de base al inglés Francis Crick (1916-2004) y al norteamericano James Dewey Watson (nacido en 1928) para describir el modelo de doble hélice del ADN y sugieren, asimismo, el mecanismo de reduplicación de esta macromolécula. En



Severo Ochoa.

En 1955, el español nacionalizado norteamericano Severo Ochoa (1905-1993) idea un método para sintetizar ARN y al año siguiente el norteamericano Arthur Kornberg (1918-2007) sintetiza ADN. Como resultado Ochoa y Kornberg comparten el Nobel de Fisiología y Medicina en 1959, y así avanzan las investigaciones que conducen a esclarecer el papel de mensajero e intermediario del ARN y al desciframiento del código genético, lo que en la década de 1970 está ya logrado.

El ATP o trifosfato de adenosina es la principal fuente de energía de los seres vivos y es aislado en 1929 por el norteamericano Cyrus Fiske (1890-1978) y el hindú Yellapragada Subbarao (1895-1948), e independientemente, en Alemania por Karl Lohman (1898-1978) a partir de extractos de hígado y músculo. Pero no fue, sin embargo, hasta diez años más tarde cuando se empezó a reconocer el papel central del ATP en la transferencia de energía. En 1941, el alemán nacionalizado estadounidense Fritz Albert Lipmann (1899-1986) apunta la hipótesis de la naturaleza cíclica del papel del ATP en los procesos bioenergéticos.

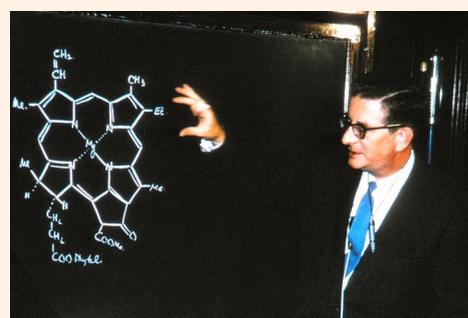


Hay que recordar que en Estados Unidos, a partir de la década d 1930 se incubaba un fuerte movimiento en el campo de la Química de los compuestos naturales, en el que después de la Segunda Guerra Mundial adquiere el liderazgo la ciencia estadounidense. Así, en el Instituto Rockefeller para la investigación médica tiene lugar las investigaciones de William Howard Stein (1911-1980) y Stanford Moore (1913-1982), que representan una contribución decisiva a la comprensión de la relación entre actividad catalítica y estructura de los sitios activos de la ribonucleasa y también son de un gran valor los estudios de Robert Bruce Merrifield (1921-2006) de nuevas rutas en la síntesis de péptidos y proteínas en una matriz sólida de moléculas de aminoácidos y proteínas.

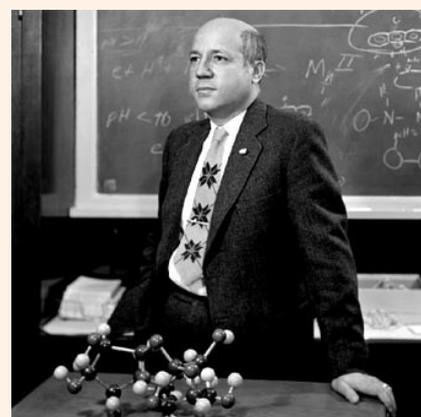
En otro “santuario” estadounidense de la investigación en el campo de los compuestos naturales, la Universidad de Harvard, se suceden nuevas conquistas. Un equipo de químicos relevantes se concentró en los laboratorios de investigación de este centro y entre ellos hay que mencionar a Robert Burns Woodward (1917-1979), que está considerado como el padre de la síntesis orgánica moderna. Realizó investigaciones punteras, entre las que destacan las relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, como la quinina en 1944.

La síntesis de la quinina es una síntesis total pues empezó con compuestos químicos que a su vez se podían sintetizar a partir de otros más sencillos y en ningún punto de la síntesis, fue necesario la utilización de compuestos químicos intermedios que se pudieran obtener solamente a partir de organismos de origen vivo. La síntesis de la quinina fue la que Perkin había estado intentando conseguir, cerca de un siglo antes, cuando se topó con los colorantes de la anilina. Woodward continua en el campo de la síntesis orgánica, realizando más tarde importantes descubrimientos, así en 1951 sintetiza esteroides como el colesterol y la cortisona. En 1954 la de un alcaloide terriblemente venenoso, la estricnina, y en el mismo año realiza la síntesis del ácido lisérgico, compuesto químico que influye sobre las funciones mentales, siendo el LSD un derivado suyo el que se utiliza como un potente alucinógeno.

En 1956 Woodward sintetizó la reserpina, la primera de las drogas tranquilizantes, que el médico Robert Wallace Wilkins (1906-2003) había introducido en 1952 dentro de la medicina occidental como medicamento para tratar la tensión arterial. En 1960 Woodward sintetiza la clorofila, pigmento vegetal cuyas funciones habían sido desmenuzadas gracias al estadounidense Melvin Calvin (1911-1997) durante la década precedente, y en 1962 su equipo de trabajo obtiene el antibiótico tetraciclina y en 1971 la vitamina B12. Con Woodward se llega a la cumbre en la larga ascensión de la síntesis orgánica comenzada por Wöhler un siglo y medio antes.



Robert Burns Woodward mostrando en 1965 la molécula de la clorofila.



Melvin Calvin.



En otro campo de la Bioquímica, en 1936 el ruso Alexander Ivanovich Oparin (1894-1980) publica un libro en el que razona cómo podía haber surgido la vida sobre la Tierra, paso a paso, a través de procesos fortuitos en una atmósfera de metano y amoníaco calentada por el sol. Con ello se inaugura un nuevo campo de la Bioquímica.

El norteamericano Harold Clayton Urey (1893-1981) sostiene que la atmósfera primitiva de la Tierra era rica en hidrógeno, metano y amoníaco, parecida a la actual de Júpiter, y bajo su dirección el norteamericano Stanley Lloyd Miller (1930-2007) reproduce en 1953 esas condiciones en un experimento en el que mantiene una atmósfera así sobre agua purificada y esterilizada, haciendo pasar por ella descargas eléctricas. Al cabo de una semana separa las sustancias disueltas en el agua y halla compuestos químicos orgánicos sencillos, incluyendo algunos aminoácidos.



Miller y su experimento.

El estadounidense Carl Sagan (1934-1996) opera en condiciones parecidas a las de Miller y detecta en 1963 la formación de ATP. Otros investigadores han conseguido resultados que también indican la posibilidad de obtener mediante procesos fortuitos nucleótidos y ácidos nucleicos. Todo ello apunta hacia la posible aparición de compuestos químicos esenciales para el desarrollo de la vida por generación espontánea.

Con respecto a la relación existente entre la Bioquímica y la Biología Molecular, hay que decir que ya en la década de 1830 al botánico alemán Matthias Jakob Schleiden (1804-1881), en vez de realizar clasificaciones y subclasificaciones de plantas, se le ocurre colocar el tejido en el microscopio, lo que le lleva a elaborar la teoría celular de las plantas, que Theodor Schwann extiende a los animales.

Schwann acuña el término metabolismo y aunque hay antecesores en la teoría celular como el inglés Robert Hooke (1635-1703) que ya observó la membrana celular o el botánico escocés Robert Brown (1773-1858), quien 1828 publica sus observaciones sobre el fenómeno del movimiento browniano (movimiento desordenado de las partículas en suspensión en un líquido) y en 1831 establece la presencia del núcleo celular en la célula vegetal, que es un anticipo de la teoría celular, pero los verdaderos padres de la teoría celular son Schleiden y Schwann.



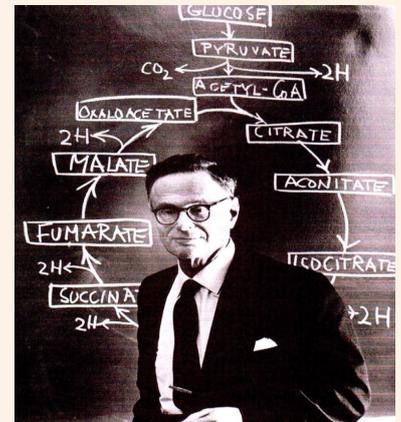
Robert Brown.

La teoría celular es una marca en la historia de la Biología comparable a la de la teoría atómica en la Química. La teoría celular se extiende y perfecciona y en 1860 queda perfectamente delimitada con el repudio total de la generación espontánea, gracias al famoso experimento del francés Louis Pasteur (1822-1895) y afirmarse lapidariamente desde entonces que las células provienen de las células.



Ya en el siglo XX hay que citar el trabajo de un importante bioquímico en el campo del metabolismo celular y es el alemán, emigrado a Gran Bretaña, Hans Adolf Krebs (1900-1981), quien en 1932 desarrolla la manera mediante la cual se forma la urea por medio de un proceso metabólico en el cual se procesan los derivados proteicos y se genera urea como producto final (ciclo de la urea).

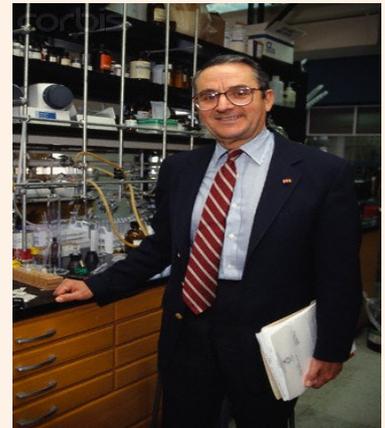
El principal trabajo de investigación de Krebs gira alrededor del análisis del metabolismo de la célula, fundamentalmente en la transformación de los nutrientes en energía, al descubrir que todas las reacciones químicas conocidas dentro de las células están relacionadas entre sí. Observa la fragmentación del glucógeno en el cuerpo de un mamífero y la consiguiente generación de ácido láctico y al analizar dicho proceso (en concreto, en el músculo pectoral de una paloma), es capaz en 1937 de integrar todos los elementos reconocidos del proceso en un único esquema conocido como el ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs, que da cuenta de la formación de la reserva de energía química de la célula a partir del ácido láctico procedente del catabolismo glucídico y lipídico y eliminación de dióxido de carbono.



Hans Adolf Krebs.

Otras investigaciones desarrolladas por Krebs incluyen el descubrimiento de la importancia de los ácidos tricarbónicos, como el ácido cítrico, el ácido isocítrico y el ácido aconítico en la respiración aerobia.

Otro gigante en el campo de la síntesis de sustancias bioactivas, que desarrolla su actividad en Harvard como colaborador de Woodward, es el norteamericano Elias James Corey (nacido en 1928), quien en la década de 1960 diseña una técnica para diseñar síntesis orgánicas, conocida como análisis retrosintético, en el que la molécula que se desea sintetizar se consigue transformando teóricamente la molécula objetivo en una secuencia de estructuras precursoras cada vez más sencillas, hasta alcanzar aquellas que sean asequibles comercialmente o simples. Corey es el primero en ver la utilidad de los ordenadores, aplicándolos en el proceso de retransíntesis. Así logra obtener más de 100 productos naturales y le conduce a la síntesis química de las prostaglandinas.



Elias James Corey.

Las prostaglandinas son derivados de los ácidos grasos que se encuentran en casi todos los tejidos del cuerpo humano, interviniendo en variadas funciones esenciales. El inglés John Robert Vane (1927-2004), demuestra que las prostaglandinas intervienen en los mecanismos neurológicos del dolor y que las múltiples aplicaciones médicas de la aspirina se derivan de su capacidad para bloquear la producción de ciertas prostaglandinas.



John Robert Vane.



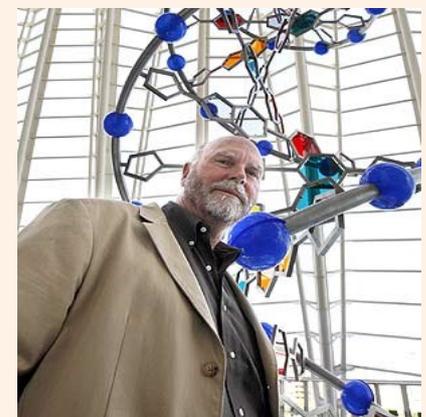
El trabajo del chino, emigrado a Estados Unidos, Choh Hao Li (1913-1987) se relaciona con el estudio de las hormonas y en concreto con las de la glándula hipofisaria. Li y su grupo de investigación de California aísla e identifica varias hormonas proteicas de la hipófisis, siendo la más importante la adreno-corticotrópa o ACTH, y demuestra en 1956 que su molécula consta de 39 aminoácidos en un orden específico. También en 1956 aísla de la glándula hipofisaria la hormona del crecimiento, cuya molécula está formada por 256 aminoácidos. El trabajo de Li es muy importante para el desarrollo de la Bioquímica en los años posteriores y en particular para el logro del conocimiento de los mecanismos de la acción hormonal, de importancia superior a la descripción puramente química de las propias hormonas.



Choh Hao Li.

En la década de 1970 aparece en escena un nuevo tipo de neurotransmisor de origen proteico, las endorfinas. El francés, nacionalizado norteamericano Roger Guillemin (nacido en 1924) ha estudiado la producción de este tipo de hormona peptídica del cerebro, que desempeña un importante rol en los mecanismos conducentes a la aparición de las emociones placenteras relacionadas con el sentimiento de felicidad.

En el último tercio del siglo XX y los inicios del siglo XXI el protagonismo del trabajo bioquímico se dirige hacia la investigación de las bases del origen de los distintos cánceres, el desciframiento del SIDA y hacia lo que se denomina el Proyecto del Genoma Humano o PGH, sobre todo después del conocimiento de la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa del norteamericano Kary Mullis.



John Craig Venter.

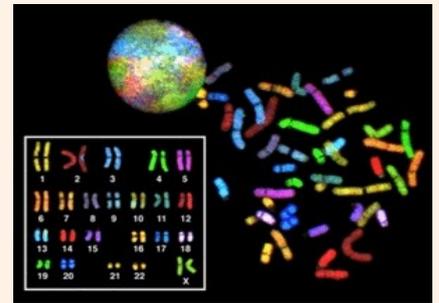
En 1989 se crea en Estados Unidos el Centro Nacional para la Investigación del Genoma y al año siguiente se pone en marcha el PGH, con la participación de un consorcio internacional de laboratorios subvencionados con dinero público, bajo la dirección de James Dewey Watson, uno de los descubridores de la estructura del ADN. El fin es descodificar el genoma humano, es decir, ubicar los aproximadamente 100.000 genes que se creían que existían y determinar la secuencia del ADN humano. EL PGH es considerado desde el principio un macroproyecto que necesita de inversiones muy cuantiosas a lo largo de toda una década. Por ello nace como un consorcio público, financiado con fondos públicos, aunque orquestado con una poderosa expectativa por parte de la industria médico-farmacéutica que veía en él un futuro de medicinas a la carta. El primer sobresalto en torno a la investigación sobre el genoma sobreviene en 1992 cuando el norteamericano John Craig Venter (nacido en 1946), director de uno de los equipos de investigación, presenta en la Oficina de Patentes Norteamericana uno de los resultados de su trabajo. Esto provoca la dimisión de Watson y su sustitución en el PGH por el genetista norteamericano Francis Collins (nacido en 1950).



En 1994, Venter funda el Instituto para Investigación Genómica y descifra la secuencia completa del genoma de una bacteria. En 1998, Venter funda la compañía Celera Genomics y arranca su propio Proyecto Genoma Humano en 1999, al margen del consorcio público, con propósitos comerciales. De esta forma empieza la carrera propiamente dicha hacia el genoma con una fuerte competitividad entre los sectores público y privado. Ante el temor de que Celera culminara el descubrimiento y se convirtiera en dueño del mismo, el consorcio público internacional trabaja a marchas forzadas e incorpora al estudio otros genomas. Se apoya en la secuenciación de genomas pequeños, empieza por los de seres procariotas (bacterias y virus) y pasa después a los eucariotas más sencillos. Existía la hipótesis de que muchas secuencias se arrastrarían en el curso de la evolución y el hecho de ser identificadas en organismos sencillos ayudaría a su reconocimiento en otros más complejos, lo cual sí que se comprobó.

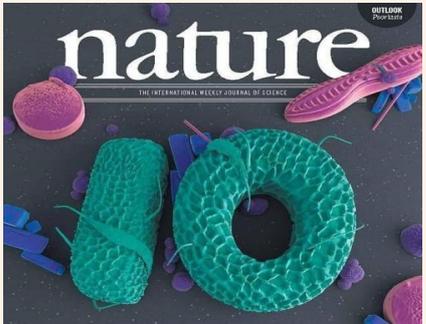
El primer análisis del hallazgo del genoma humano, cubriendo un 92,3 % del total estimado del genoma humano y con un 99,99 % de fiabilidad en cada posición secuenciada, es presentado en febrero de 2001, y son obtenidos por el consorcio público y por Celera, que se publican, respectivamente, los días 15 y 16 de febrero en las revistas Nature, Science y en Internet, por lo que el genoma humano se convierte en propiedad pública y en patrimonio de la humanidad. El análisis de la secuencia publicada permite hacerse una buena idea de la estructura del genoma humano, su composición y algunas de sus características funcionales. Los científicos del PGH continúan trabajando para terminar la secuenciación de los tres mil millones de pares de bases y en abril de 2003, coincidiendo con el 50 aniversario de la publicación de la primera estructura del ADN por Watson y Crick, se concluyen los trabajos sobre el desciframiento del genoma humano, dos años antes de lo previsto.

El 20 de mayo de 2010 la revista Science publica la noticia de que Venter logra crear una célula bacteriana con el genoma sintético. En concreto, fabrica en una máquina de laboratorio todo el genoma de la bacteria "Mycoplasma mycoides" basándose en una copia del de la bacteria original. Después de obtener el genoma artificial, vacía una célula de otra especie de bacteria del mismo género, "Mycoplasma capricolum", y lo introduce en esta célula recipiente. A partir de ese momento la bacteria huésped, sólo expresa las proteínas de la bacteria sintetizada y sus características son las que confiere el genoma sintético fabricado en el laboratorio. Algunos investigadores, si bien destacan el logro científico, no coinciden en que se pueda hablar de una forma de vida artificial, ya que la bacteria en que se inserta el ADN sintético es completamente natural.



Proyecto Genoma Humano.

La carrera por obtener el primer borrador del genoma humano es ganada por la empresa privada y el 26 de junio del 2000 se presenta desde la Casa Blanca en la capital de Estados Unidos el anuncio del borrador del genoma humano por Collins y Venter junto con el presidente de los Estados Unidos Bill Clinton.



En mayo de 2006 se alcanza otro hito del PGH, al publicarse la secuencia del último cromosoma humano en la revista Nature.



8. Las bases del desarrollo de la Quimioterapia.

Los avances en la Química Orgánica, junto con los extraordinarios progresos de la Fisiología, la Medicina, la Bioquímica y la Informática han promovido una revolución en el ámbito de la Quimioterapia.

Desde los mismos orígenes de la Quimioterapia, en el diseño de fármacos ha ocupado una posición esencial los compuestos químicos naturales, que han sido una de las grandes fuentes de los llamados fármacos prototipos.

Sirva citar como ejemplos de este grupo, los glicoes-teroides, con propiedades cardiotónicas, las hormonas de mamíferos, como insulina, corticoides y hormonas sexuales, y otros productos endógenos como las prostaglandinas.

Más recientemente en 1969 con el aislamiento de la ciclosporina A, un metabolito del hongo *Tolypocladium inflatum*, se cree disponer de un prototipo para una nueva generación de agentes antivirales, pero su demostrada actividad inmunodepresora, al interferir la biosíntesis de la linfoquina, ha hecho que haya tenido un gran impacto en la cirugía de trasplantes, al disminuir notablemente el rechazo al órgano injertado.

La época del desarrollo de programas de ensayos farmacológicos sistemáticos con productos sintéticos se inaugura a finales del siglo XIX por el bacteriológico alemán Paul Ehrlich (1845-1915), que es el pionero de la Quimioterapia contemporánea.

Una vez identificadas las bacterias, el paso siguiente lo constituye el descubrimiento de las medicinas capaces de aniquilarlas sin matar al propio tiempo al paciente. A dicha investigación consagra sus esfuerzos el médico y bacteriólogo alemán, Paul Ehrlich, que considera su tarea como la búsqueda de una “bala mágica”, que no dañe el cuerpo humano y aniquile sólo a las bacterias.



La principal contribución de Ehrlich a la Medicina es la teoría de la inmunidad de cadena lateral, que establece la base química para la especificidad de la respuesta inmunológica y que explica cómo los receptores de la parte externa de las células se combinan con toxinas para producir cuerpos inmunes capaces de combatir la enfermedad. Su teoría es que las células tienen en su superficie moléculas receptoras específicas (cadenas laterales) que sólo se unen a determinados grupos químicos de las moléculas de toxina; si las células sobreviven a esta unión, se produce un excedente de cadenas laterales, algunas de las cuales son liberadas a la sangre en forma de antitoxinas circulantes (lo que hoy se llama anticuerpos).



En 1896 Ehrlich es nombrado director del Real Instituto Prusiano de Investigaciones y Ensayos de Sueros, en donde desarrolla diversos métodos para estudiar las reacciones químicas de las toxinas. Ehrlich muestra su interés por tinturas que colorean las bacterias, lo que guarda una estrecha relación con la investigación de las células. La célula, en su estado natural, es incolora y transparente, de manera que resulta en extremo difícil observar con detalle su interior.

Los primeros microscopistas utilizan colorantes que tiñen las células, pero dicha técnica sólo pudo ponerse en práctica con el descubrimiento por Perkin de los tintes de anilinas. Lo que hace ahora Ehrlich es considerar aquellos tintes como posibles bactericidas, pues es factible que una mancha que reaccione con las bacterias más intensamente que con otras células, llegue a matar las bacterias, e incluso al ser inyectada en la sangre en concentración lo suficientemente baja puede que no dañe las células del paciente.



El tripán rojo y el salvarsán constituyen el comienzo de la Quimioterapia en base al uso de remedios químicos sintéticos.

Una de las mayores innovaciones de Ehrlich consiste en el uso de diferentes tintes (azules de metileno y de indofenol) como tintes selectivos para su en diferentes tipos de células. En este sentido, Ehrlich es el primero en investigar las vías del sistema nervioso, inyectando azul de metileno en las venas de conejos vivos y obtiene extraordinarios resultados al tratar con un derivado azoico a animales que sufrían la enfermedad del sueño.

Ehrlich, intentando buscar una cura para la malaria y la sífilis, trata de encontrar un producto químico sintético, que una vez ligado a ciertos parásitos, los aniquile. En 1904 cura un ratón infectado de tripanosomiasis, inyectándole en la corriente sanguínea el colorante rojo tripán, que serviría para teñir los tripanosomas, organismos responsables de la temida enfermedad africana del sueño, transmitida a través de la mosca tse-tsé. Al ser inyectado en la sangre a dosis adecuadas, el rojo tripán aniquila los tripanosomas sin matar al paciente.



Salvarsán o arsfenamina.

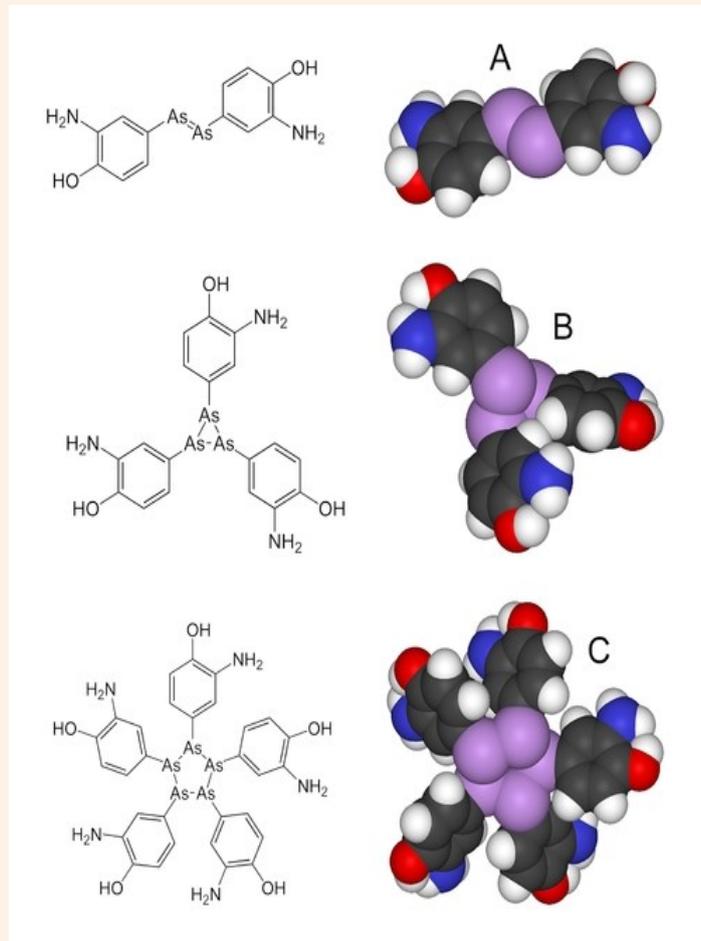
Pero Ehrlich no está satisfecho y quiere algo que aniquile de forma más radical a los microorganismos. Como la parte tóxica de la molécula del rojo tripán está constituida por la combinación "azo", o sea por (-N=N-), hace suposiciones sobre lo que podría lograrse con una combinación similar de átomos de arsénico (-As=As-). El arsénico es químicamente similar al nitrógeno, pero mucho más tóxico.



A partir de 1905, Ehrlich empieza a ensayar compuestos de arsénico, uno tras otro, y los numera metódicamente a medida que lo hace. En 1909, ensaya el compuesto 606, que fracasaba contra los tripanosomas, en la bacteria causante de la sífilis y demuestra ser letal para dicho microbio (denominado espiroqueta por su forma en espiral). Ehrlich se da cuenta inmediatamente de que ha tropezado con algo mucho más importante que una cura para la tripanosomiasis, ya que, al fin y al cabo, se trata de una enfermedad limitada, confinada a los trópicos. Hace ya más de cuatrocientos años que la sífilis es un azote secreto en Europa, desde tiempos de Cristóbal Colón. No sólo no existía curación para la sífilis, sino que una actitud gazzmoña había cubierto la enfermedad con un manto de silencio, permitiendo así que se propagara sin restricciones.

Su compuesto químico, arsfenamina, resultó ser efectivo contra el *Treponema pallidum*, responsable de la sífilis, y este producto se comercializó con el nombre de Salvarsán o “arsénico inocuo”, como él lo llamaba. Después vino la neoarsfenamina o neosalvarsán, que fue conocido durante mucho tiempo como “Ehrlich 914” por tratarse del 914 compuesto químico preparado por Ehrlich y sus ayudantes. Con Ehrlich se inicia una nueva fase de la Quimioterapia y en el siglo XX, la Farmacología o el estudio de la acción de productos químicos independientes de los alimentos, es decir, los medicamentos, adquiere carta de naturaleza como ciencia auxiliar de la Medicina y en donde la arsfenamina fue la primera medicina sintética, frente a los remedios vegetales, como la quinina.

Los años siguientes al descubrimiento de Ehrlich, la suerte no acompaña a los creadores de nuevas medicinas. Hay que esperar a 1924 para obtener un nuevo éxito gracias a químicos alemanes con el descubrimiento de la plasmocina y de la atebriina en 1930, que se utilizan como sustitutivos de la quinina contra la malaria durante la Segunda Guerra Mundial por los ejércitos aliados en las zonas selváticas, después de que Japón ocupara Java, que era la fuente del suministro mundial de quinina.



Estructura de la arsfenamina.

Se creía que su estructura era la A hasta 2005, pero una nueva investigación sugiere que tiene una estructura entre el trímero B y el pentámero C.



El alemán Gerhard Domagk (1895-1964) ensaya entre 1932 y 1935 un colorante azoico rojo llamado prontosil en ratones infectados con el letal estreptococo hemolítico y los ratones sobreviven. Se lo aplica también a su propia hija, que se estaba muriendo a causa de una gravísima estreptococia hemolítica y también sobrevive, por lo que el prontosil adquiere renombre mundial como medicina capaz de detener en el ser humano la estreptococia. Pero el prontosil no aniquila a los estreptococos en el tubo de ensayo, sino tan sólo en el organismo. En 1936, científicos del Instituto Pasteur de París llegan a la conclusión de que el prontosil se comporta como una prodroga y en el organismo el prontosil se transforma o metaboliza en otra sustancia capaz de ejercer el efecto sobre las bacterias. La sustancia que efectúa el efecto farmacológico real es la sulfanilamida y abre el camino para el descubrimiento de las sulfamidas.



Gerhard Domagk.

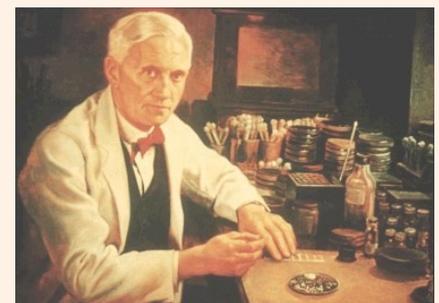
En 1937 se introduce la sulfapiridina, en 1939 el sulfatiazol y en 1941 la sulfadiazina, con lo que los médicos ya disponen de toda una serie de sulfamidas donde elegir para combatir distintas infecciones y en especial la neumonía neumocócica. Pero los medicamentos a base de sulfamidas gozan de un breve período de gloria, ya que pronto quedan relegados al olvido por el descubrimiento de un arma antibacteriológica de mucha mayor potencia, los antibióticos.



El prontosil es un azo derivado que por reducción metabólica libera la sulfanilamida, el verdadero compuesto químico responsable de la acción antibiótica. El programa de búsqueda de mejores sulfamidas bacterianas conduce a espectaculares aperturas en otros sectores de los fármacos, tales como diuréticos (sulfonamidas y disulfonamidas), hipoglucemiantes (sulfonilureas), leprostáticos y anti-tuberculosos (sulfonas).

En la década de 1920, el bacteriólogo escocés Alexander Fleming (1881-1955) descubre la actividad antimicrobiana de la enzima lisozima durante sus investigaciones de un tratamiento contra la gangrena gaseosa, que diezmaba a los combatientes en las guerras. El descubrimiento ocurre después de que mucosidades, procedentes de un estornudo, caen sobre una placa Petri en la que crecía un cultivo bacteriano. Unos días más tarde, nota que las bacterias son destruidas en el lugar donde se había depositado el fluido nasal. La lisozima es abundante en numerosas secreciones como la saliva, las lágrimas y el moco.

El laboratorio de Fleming estaba habitualmente desordenado, lo que es una ventaja para su siguiente descubrimiento. En una mañana de septiembre de 1928, se encuentra con que algunos cultivos de estafilococos (la materia común que forma el pus) que había dejado sobre un banco estaban contaminados por algo que había destruido las bacterias.



Alexander Fleming.



Fleming trata de averiguar lo que había matado a la bacteria y descubre que se trata de un moho común en el pan, el *penicillium notatum* y alguna sustancia producida por dicho moho resulta ser letal para los gérmenes. La obtención y purificación de la penicilina a partir de los cultivos de *penicillium notatum* es difícil y es una tarea más apropiada para químicos que para médicos. Fleming publica sus resultados en 1929, pero la comunidad científica cree que la penicilina sólo es útil para tratar infecciones banales y no se le presta demasiada atención.

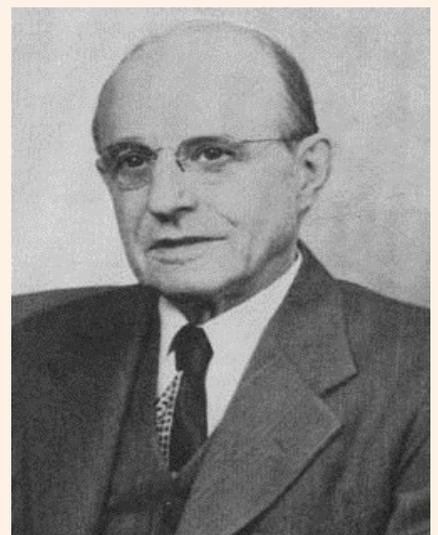
Diez años después, en 1939, el bioquímico británico Howard Walter Florey (1898-1968) y su colaborador británico de origen alemán, Ernst Boris Chain (1906-1979) se muestran intrigados ante el descubrimiento de Fleming ya casi olvidado y se dedican a aislar la sustancia antibactericida. En 1941 obtienen un extracto que es activo clínicamente contra cierto número de bacterias grampositivas, pero por causa de la guerra, Gran Bretaña no está en situación de producir el medicamento y ambos científicos se trasladan a Estados Unidos para participar en un programa para desarrollar métodos de purificación y producción de la penicilina, que empieza a ser utilizada durante la Segunda Guerra Mundial a partir de 1943 en el transcurso de los frentes de Túnez y Sicilia.



Selman Waksman.

La penicilina abre el camino hacia el descubrimiento de otros antibióticos como la estreptomicina y las tetraciclinas. En 1943, el ucraniano, nacionalizado norteamericano Selman Waksman (1888-1973) aísla de un moho del suelo, del género *Streptomyces*, el antibiótico conocido como estreptomicina, que ataca a las bacterias gramnegativas y su mayor triunfo lo consigue contra el bacilo de la tuberculosis.

Luego llegan toda una serie de antibióticos de amplio espectro. La aureomicina es el primero de los antibióticos de las tetraciclinas, aislada por el norteamericano Benjamin Minge Duggar (1872-1956) en 1944 y aparece en el mercado en 1948. Las tetraciclinas se llaman así porque en todos los casos su molécula está formada por cuatro anillos, uno al lado de otro y son antibióticos efectivos contra una amplia gama de microorganismos y son especialmente valiosos porque su toxicidad es relativamente baja.



Benjamin Minge Duggar.

Finalmente, otra dirección en el diseño de fármacos consiste en la búsqueda de antimetabolitos por variaciones de la estructura de metabolitos. Esta estrategia es una de las más usadas en la actualidad en el diseño de agentes anticancerosos. Una modificación dentro de esta dirección de trabajo es el diseño de inhibidores enzimáticos, entre los cuales hay que mencionar las cefalosporinas. La primera de todas ellas es descubierta en 1945 por el médico italiano Giuseppe Brotzu (1895-1976) y actúa como inhibidor de de las transpeptidasas de las bacterias.



9. La Química en la alimentación.

En 1902, el alemán Karl von Linde (1842-1934) logra separar el nitrógeno del oxígeno del aire líquido y abre una vía para la utilización del nitrógeno atmosférico, hasta tal punto que el encontrar un uso práctico para el nitrógeno atmosférico a gran escala era uno de los problemas que más preocupaban a los químicos de la época. Y ello conduce al estudio de la síntesis del amoníaco mediante la reacción entre el nitrógeno y el hidrógeno, reacción que chocaba con muchas dificultades prácticas.

El interés por el amoníaco reside en que es un precursor de fertilizantes químicos y una materia prima básica para la elaboración de explosivos. Así, en 1903 el alemán Fritz Haber (1868-1934) demuestra que el amoníaco se puede sintetizar utilizando un catalizador de hierro según la reacción: $N_2 + 3 H_2 \rightarrow NH_3$.

Sin embargo, el rendimiento del proceso es muy pequeño y carece de relevancia comercial. Para desconcierto de Haber, Nernst le replica públicamente y señala que no había prestado suficiente atención a la presión como factor del desplazamiento del equilibrio de dicha reacción química. Espoleado por los ataques públicos de Nernst, Haber trabaja enrabietado y con un aparato de pequeña escala de alta presión y un nuevo catalizador, descubierto de manera fortuita, el osmio, produce en 1908 una cantidad

Síntesis del amoníaco

La disponibilidad de un proceso de síntesis del amoníaco al comienzo de la Primera Guerra Mundial (1914-1918) fue fruto del gran desarrollo de la industria química alemana de la época y de las magníficas relaciones que mantenía con el mundo académico.

La Alemania de 1913 es un país superpoblado, al que había que alimentar, e importaba alrededor de 100.000 toneladas de abono natural de nitrato de Chile. Dado que la Primera Guerra Mundial deja a Alemania fuera del mercado de fertilizantes naturales procedente de Chile, la obtención de amoníaco en su fábrica de Oppau supuso un gran alivio para su agricultura, sin olvidar que el amoníaco y el ácido nítrico también pueden ser utilizados como materias primas para fabricar explosivos.

significativa de amoníaco líquido por hora y presenta los resultados a la Badische Anilin und

Soda Fabriken, (BASF), la mayor empresa de productos químicos de la época y los directivos de la sociedad terminan por apostar, sin límite de tiempo ni de crédito, a la solución del problema del paso (escalado) de la síntesis en el laboratorio a la obtención industrial del amoníaco, confiando esta tarea a dos expertos en el esca-



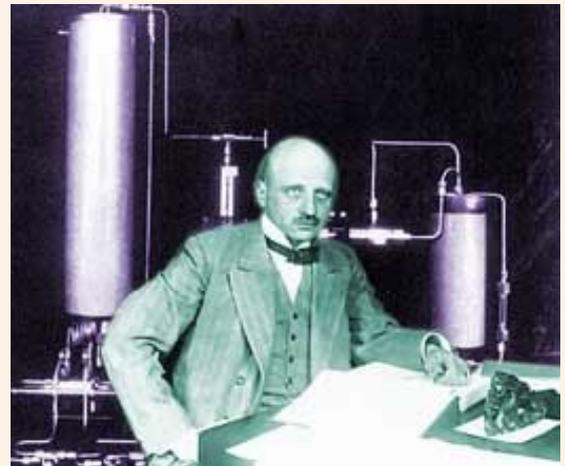
Equipo de laboratorio de Haber para la producción de amoníaco.

lado, los alemanes Bosch y Mittasch, que son dos ingenieros nombrados ayudantes de Haber por el director de BASF.



El alemán Carl Bosch (1874-1940) era un metalúrgico encargado de encontrar materiales resistentes a las presiones y a la corrosión, mientras que el alemán Aldwin Mittasch (1869-1953) era un especialista en catálisis. El 2 de julio de 1909, Haber realiza una demostración de su proceso y obtiene unos cientos de gramos de amoníaco.

Cuatro años más tarde, después de hacer más de 6.500 experimentos para encontrar el mejor catalizador barato y efectivo para la reacción, se halla que el hierro poroso, con pequeñas cantidades de óxido de aluminio, es el mejor y en el verano de 1913, Bosch y Mittasch consiguen poner en marcha una gran fábrica en Oppau



Haber en su laboratorio.

de la BASF dedicada a la síntesis del amoníaco, en la que se produce unas mil veces la producción inicial de Haber, es decir unas cuatro toneladas diarias de amoníaco. En la actualidad se produce más de cien mil veces esta cantidad de amoníaco, pero el catalizador propuesto por Mittasch no ha podido ser superado en eficiencia y costo.

A partir de mediados del siglo XX, el incremento de la producción agrícola se logra por: a) El uso de variedades de plantas de cereales de alto rendimiento (trigo, arroz o maíz); b) El aumento el rendimiento de la tierra por hectárea mediante la adición de grandes cantidades de agua y de sustancias llamadas agroquímicos en forma de abonos y pesticidas, el uso de invernaderos y la utilización de plantas transgénicas obtenidas por Ingeniería Genética, que es lo que se conoce como la Revolución Verde.

A lo largo de la historia se han usado sustancias contra la lucha de plagas de insectos nocivos para la agricultura. El término pes-



Paul Müller.

Importante

La respuesta al hecho de que el progreso científico puede tener algunas veces repercusiones perjudiciales, no debe implicar el abandono del avance científico, sino su sustitución por un avance aún mayor y aplicado con prudencia e inteligencia.

ticida de primera generación agrupa a los derivados inorgánicos de elementos químicos tóxicos como plomo, arsénico y mercurio, que se han empleado tradicionalmente para tal fin. Con el desarrollo de la Química Orgánica aparece el término pesticida de segunda generación para derivados orgánicos sintéticos como el dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), que es uno de los insecticidas más potentes que se han fabricado. El DDT es sintetizado por primera vez en 1874 por el austríaco Othmar Zeidler (1859-1911), pero el producto carece de interés hasta que el suizo Paul Müller (1899-

1965) descubre en 1936 su fuerte acción insecticida y tras cuatro años de intensa labor obtiene la patente industrial en 1940.



En 1943 tiene lugar la primera aplicación del DDT, al desarrollarse en la ciudad de Nápoles una epidemia de tifus después de su captura por las tropas angloamericanas durante la Segunda Guerra Mundial. El médico francés Charles Nicolle (1866-1936) había demostrado en 1909 que el tifus era contagioso sólo a través de la picadura de un piojo, lo que hace que se emplee el DDT en la lucha contra dicho insecto. Se roció a la población de Nápoles y se cortó la epidemia.



Fumigación con DDT durante la Segunda Guerra Mundial.

Al término de la Guerra Mundial, el DDT empieza a utilizarse en la agricultura y disminuyen las plagas de insectos, pero pronto empiezan a surgir estirpes de insectos resistentes al DDT. Para contrarrestar esta acción se tiene que sintetizar nuevos insecticidas y se inicia una carrera por la mejora de las características de estas sustancias, llegando incluso hasta la producción de los agentes defoliantes herbicidas como el agente naranja, que destruyen toda la flora y cuyo uso se extiende en la Guerra del Vietnam desde 1962 hasta 1971, dentro de un programa para deshojar la tierra arbolada y rural, y privar a los guerrilleros de su capacidad operativa.

A partir de la década de 1960, especialmente tras la publicación en 1962 del libro Primavera Silenciosa de Rachel Louise Carson, se llama dramáticamente la atención sobre la posibilidad de que, por el uso indiscriminado de los productos químicos, la humanidad pueda matar especies indefensas e incluso útiles, al mismo tiempo que aquellas a las que en realidad se trata de aniquilar, se exija el cese de la aplicación del DDT.

La hormona juvenil

El insecto tiene una metamorfosis periódica y pasa por fases bien definidas: larva, crisálida y adulto. Las transiciones son complejas y tienen lugar bajo el control de las hormonas. Así, una de ellas, llamada hormona juvenil impide el paso a la fase adulta hasta el momento apropiado. Mediante el aislamiento y aplicación de la hormona juvenil, se puede interceptar la fase adulta durante el tiempo necesario para matar al insecto. Cada insecto tiene su propia hormona juvenil y sólo ella le hace reaccionar. Así pues, se puede emplear una hormona juvenil específica para atacar a una determinada especie de insecto sin perjudicar a ningún otro organismo del mundo. Guiándose por la estructura de esa hormona, los biólogos pueden incluso preparar sustitutos sintéticos que son mucho más baratos y actúan con idéntica eficacia.

Desde 1980 se promueve una corriente de pensamiento relacionada con las nociones de biocompatibilidad, fuentes renovables de recursos y el desarrollo de una conciencia social que reconozca la necesidad apremiante de una actuación más racional de convivencia de los agroquímicos con el entorno ambiental. En este sentido, hay que recordar que ya desde la mitad del siglo XX existe una línea diferente de ataque contra los insectos patógenos. Es desarrollada por el biólogo norteamericano Carroll Williams (1916-1991), que conceptualiza el término pesticida de tercera generación, que es más respetuoso con el Medio Ambiente y está formado por aquellas sustancias sintéticas imitadoras de las hormonas inhibitoras (hormonas juveniles) del crecimiento de los insectos, que en cantidades muy pequeñas retrasan y frenan el desarrollo y crecimiento normal de los mismos y que, por ello, los mantienen en la etapa inmadura. Estas sustancias tienen la ventaja de ser selectivas y no son tóxicas para la mayoría de otras formas de vida.



Otra forma de lograr un aumento de la cantidad de alimentos es mediante la producción de organismos transgénicos, es decir de organismos modificados en el laboratorio con genes de otras especies (bacterias, virus, hongos, etc.), lo que ha permitido obtener variedades de cultivos, como los de soja o de maíz, resistentes al frío o a las plagas, y hasta obtener con ellos alimentos con mejores propiedades nutritivas, como, por ejemplo, cereales con un mayor contenido de vitaminas.

En 1973, los estadounidenses Herbert Boyer (nacido en 1936) y Stanley Cohen (nacido en 1935) realizan los primeros experimentos de Ingeniería Genética, en los que genes de una especie se introducen en organismos de otra especie y funcionan correctamente.



Boyer y Cohen.

En 1976, Boyer funda Genentech Incorporated, la primera empresa de Ingeniería Genética, que al año siguiente empieza a fabricar con éxito una hormona humana en una bacteria.

Los alimentos transgénicos proceden de organismos genéticamente modificados. Al introducir el gen deseado dentro del cromosoma de una planta mediante técnicas de cultivo de tejidos, se puede desarrollar plantas completas a partir de cualquier célula o tejido y es así como en 1984 aparecen las primeras plantas transgénicas mediante Biotecnología.

En 1994 se comercializa el primer vegetal modificado genéticamente, el tomate Flavr-Savr, que es muy sabroso y permanece fresco durante mucho tiempo. Poco tiempo después, se introducen nuevas variedades de cultivos de soja y maíz.

En 1997, son aprobados en Estados Unidos 18 cultivos derivados de la Biotecnología y la investigación continúa para mejorar la productividad agrícola y aumentar el valor nutricional de los alimentos.



Tomates Flavr-Savr



10. La Química y el Medio Ambiente.

En 1974, el norteamericano Frank Sherwood Rowland (1927-2012) publica que los clorofluorocarbonos (CFC) contribuyen al agotamiento de la capa de ozono de la atmósfera. Rowland explica que los gases de estos compuestos orgánicos artificiales, empleados masivamente como propulsores en todo tipo de sprays y como refrigerantes, tienen potencial para destruir la capa de ozono, ya que se descomponen mediante la radiación solar en la estratosfera, liberando átomos de cloro y moléculas de monóxido de cloro que individualmente son capaces de descomponer gran número de moléculas de ozono. El trabajo de Rowland, realizado en colaboración con el mexicano-norteamericano Mario Molina (nacido en 1943) y publicado en la revista Nature inicia una investigación científica a gran escala del problema, que concluye en la adopción de medidas internacionales para su resolución. La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos reconoce la validez de sus conclusiones en 1976 y en 1978 los aerosoles de CFCs son prohibidos en Estados Unidos.



Frank Sherwood Rowland.

En los inviernos australes de 1986 y 1987, la estadounidense Susan Solomon (nacida en 1956) demuestra la veracidad de las predicciones sobre el agujero de la capa de ozono y con ello se ponen las bases del protocolo de Montreal de las Naciones Unidas, el primer tratado internacional, que ha entrado en vigor el 1 de enero de 1989 para enfrentarse a un problema ambiental de escala global y de origen antropogénico.

La importancia concedida a este problema por la comunidad científica se expresa en el premio Nobel concedido de forma compartida a Rowland, Molina y al holandés Paul Crutzen (nacido en 1933) en 1995, quien en 1970 demuestra que los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) intervienen como catalizadores en la descomposición del ozono estratosférico.

Al problema de la disminución de la capa de ozono se suma el peligroso deterioro causado por las lluvias ácidas. El escocés Robert Angus Smith (1817-1884) es quién en 1852 acuña el concepto de lluvia ácida en relación con la polución del aire de la ciudad británica de Manchester, cuyo problema tiene su origen en la Revolución Industrial y no ha dejado de empeorar desde entonces. La preocupación por la lluvia ácida queda de manifiesto por primera vez en el foro de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente de Estocolmo (Suecia) en 1972.

Otro problema ambiental es el aumento del efecto invernadero con la consiguiente polémica sobre el calentamiento del planeta y el posible cambio climático por causa de la acción directa del ser humano.

Importante

La comunidad científica viene gestando los contornos de una Química del Medio Ambiente, que exige del concurso de otras disciplinas de la Química, en particular de la Química de los radicales libres, la Cinética en cuanto demanda del desarrollo de nuevos sistemas catalíticos, y la intervención de las técnicas de análisis más refinadas y fiables.



Ya en 1824, el francés Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) considera que la Tierra se mantiene templada porque la atmósfera retiene la energía térmica como si estuviera bajo un cristal y es el primero en emplear la analogía del invernadero. En 1859, el irlandés John Tyndall (1820-1893) descubre que el dióxido de carbono, el metano y el vapor de agua bloquean la radiación infrarroja. Por su parte, el sueco Svante August Arrhenius (1859-1927) publica en 1903 un Tratado de Física del Cosmos, en el que trata por primera vez de la posibilidad de que la quema de combustibles fósiles incremente la temperatura media de la Tierra.

En las décadas siguientes, las predicciones de Arrhenius son poco valoradas, pues se creía que el CO₂ no influía en la temperatura del planeta y el efecto invernadero se atribuía exclusivamente al vapor de agua. En 1938, el inglés Guy Stewart Callendar (1898-1964) publica que el incremento del CO₂ en la atmósfera, observado desde 1890 a 1938 (48 años de Revolución Industrial basada en la combustión del carbón) podía estar relacionado con la tendencia al calentamiento del planeta, observado en el mismo período, y propone la vinculación del aumento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera con el incremento de la temperatura global de la Tierra, pero considera que el calentamiento sería beneficioso y que retrasaría la llegada de la siguiente glaciación.

Sin embargo, el norteamericano Roger Revelle (1909-1991) cree que la afirmación de Callendar es implausible y que cualquier “exceso” de CO₂ atmosférico sería absorbido por procesos naturales. Esto da origen al comienzo de un debate científico y el norteamericano Charles David Keeling (1928-2005), trabajando bajo la dirección de Revelle, lleva a cabo una serie de medidas entre 1957 y 1959 de una estación en Mauna Loa y otra en la Antártica y los resultados son claros y negativos para la posición de Revelle, mostrando sin dudas que no sólo ha habido un incremento del dióxido de carbono atmosférico en relación al siglo XIX, sino que, además, incluso ha habido un incremento del dióxido de carbono durante el periodo de las mismas mediciones.



Charles David Keeling.

Keeling continúa durante cuarenta años sus observaciones, que establecen de forma continua y repetidamente que, sin importar donde se tomen las medidas -ya sea en ciudades o campos, valles o montes- la medida promedio del CO₂ atmosférico se incrementa de año en año, y dichos resultados permanecen sin cuestionamiento científico hasta el presente.



Klaus Hasselmann.

El primer modelo estadístico de evolución del clima es desarrollado en 1972 por el alemán Klaus Hasselmann (nacido en 1931) del Instituto Max Planck y desde entonces la controversia científica sobre el cambio climático de origen antropogénico está servida, sobre todo desde la promulgación del Tratado Internacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992 y la adopción del Protocolo de Kyoto de 1997.



Un aspecto relacionado indirectamente con la conservación del Medio Ambiente es la utilización de gases venenosos en los conflictos bélicos, como la Primera Guerra Mundial. Los gases utilizados iban desde el gas lacrimógeno a agentes letales, como el gas cloro y el fosgeno, y agentes incapacitantes como el gas mostaza.

Durante la Primera Guerra Mundial, los franceses son los primeros en emplear gas, al utilizar granadas rellenas de gas lacrimógeno (bromuro de xililo) en agosto de 1914, pero Alemania es la primera potencia en hacer uso a gran escala del gas como arma el 31 de enero de 1915, al disparar 18.000 obuses de artillería llenos de bromuro de xililo líquido sobre las posiciones rusas en el río Rawka en la Batalla de Bolimov (Polonia). En lugar de vaporizarse, el producto se congela, fallando estrepitosamente.



Debido al uso generalizado de la guerra química, además de los importantes avances en la fabricación de explosivos de alto orden, a veces se ha calificado a la Primera Guerra Mundial como la guerra de los químicos.

El químico alemán Fritz Haber desempeña un papel importante en el desarrollo de la guerra química en la Primera Guerra Mundial. Dirige los equipos de desarrollo del gas de cloro y de otros gases letales para su utilización en la guerra de trincheras, aunque también parte de su trabajo incluye el desarrollo de máscaras de gas con filtros absorbentes.

La guerra del gas en la Primera Guerra Mundial es, en cierto sentido, la guerra de los químicos, con Haber enfrentado al francés Victor Grignard (1871-1935). El cloro es el primer agente letal que se emplea, que existía en abundancia como subproducto de la fabricación de tintes. El 22 de abril de 1915, el ejército alemán tiene 160 toneladas de cloro repartidas en 5.730 cilindros frente a Langermarck, al norte de Ypres, (Bélgica). A las 17:00 horas, con una ligera brisa del este, liberan el gas, formando una nube verde grisácea que se desplaza hasta las posiciones de las tropas francesas, que abandonan sus trincheras, creando una franja vacía de 7 km en las líneas aliadas. Sin embargo, la infantería alemana también teme el contacto con el gas, además de carecer de refuerzos, de manera que no consiguen aprovechar la retirada enemiga antes de que lleguen refuerzos canadienses y británicos en apoyo de los franceses.



Fritz Haber con uniforme militar. En cuanto a la guerra y la paz, Haber dijo una vez: “en tiempo de paz, un científico pertenece al mundo, pero en tiempo de guerra pertenece a su país”. Este es un ejemplo de los dilemas éticos que enfrentaron a los químicos durante la Primera Guerra Mundial.

Las deficiencias del cloro se superan con el fosgeno, utilizado inicialmente por los franceses bajo la dirección de Grignard en 1915. Poco después, los alemanes, de la mano de Haber, lo añaden en pequeñas cantidades al cloro para aumentar la toxicidad de éste. El fosgeno es un agente letal muy potente, más mortífero que el cloro, aunque tiene la desventaja potencial de que los síntomas derivados de la exposición al gas tardan 24 horas o más en manifestarse, lo que hace que las víctimas puedan seguir combatiendo en un principio, pero ello significa que las tropas aparentemente sanas, están incapacitadas por los efectos del gas al día siguiente.



El fosgeno es difícil de detectar, por ser incoloro y con un olor comparable al “heno enmohecido”. Sin embargo, es mucho más denso que el aire, y por eso solía mezclarse con un volumen igual de cloro, que con su menor densidad ayuda a su diseminación.

El gas más efectivo de la Primera Guerra Mundial es el gas mostaza, un vesicante introducido por los alemanes en julio de 1917 antes de la Tercera Batalla de Ypres. El gas mostaza no pretendía ser un agente letal (aunque lo es en altas dosis), sino que estaba diseñado para acosar e incapacitar al enemigo y contaminar el campo de batalla. Se disparaba dentro de proyectiles de artillería, y es más pesado que el aire. Se posaba en el suelo en forma de un líquido parecido al jerez, y se evapora lentamente sin necesidad del concurso de la luz solar. Al final de la Primera Guerra Mundial, las armas químicas pierden parte de su efectividad contra las tropas bien entrenadas y equipadas. En aquel momento, una cuarta parte de los proyectiles de artillería que se disparan contienen armas químicas, pero solo causan el 3% de las bajas.

El final de la Primera Guerra Mundial produce otro problema: la superproducción de productos químicos. En todas partes, las empresas químicas se encuentran con excedentes de fertilizantes, de colorantes y de explosivos, y a partir de 1921 se manifiesta la depresión. Para hacer frente a la situación caótica del sector químico, los poderes públicos impulsan la concentración de empresas. Así, en Alemania las mayores empresas químicas como la BASF, la Bayer, la Hoechst y la AGFA se asocian y constituyen la I.G. Farben, que se convierte en el primer productor químico mundial, que al servicio de Hitler producen en la Segunda Guerra Mundial el gas zyklon-B, responsable del exterminio de los judíos en los campos de concentración. Irónicamente, el zyklon-B fue desarrollado en la década de 1920 por Fritz Haber, que era un alemán de origen judío, y se vio forzado a abandonar su país en 1934. Con el Protocolo sobre el Gas de la Tercera Convención de Ginebra, firmado en 1925, se acuerda no utilizar gas venenoso en el futuro, y el uso en guerra de gases asfixiantes, venenosos o de otro tipo ha sido justamente condenado por la opinión pública del mundo civilizado. A pesar de todo durante la Segunda Guerra Mundial se toman precauciones contra los gases venenosos, como la de enseñar a los escolares a llevar máscaras de gas en caso de un ataque de gas. No obstante, en dicho período Alemania desarrolla los gases venenosos tabun, sarin y soman y utiliza el zyklon-B en los campos de exterminio nazis. Ni Alemania ni las Naciones aliadas utilizan ninguno de sus gases de guerra en combate, posiblemente atendiendo a las advertencias de severas represalias.



Durante el primer ataque de cloro/fosgeno combinado de los alemanes, lanzado contra las tropas británicas en Nijlste, cerca de Ypres, Bélgica, el 19 de diciembre de 1915, se liberan 88 toneladas de gas envasadas en cilindros, causando 1.069 bajas y 120 muertes. En enero de 1916, los británicos añaden hexametilentetramina a la mezcla química del filtro de sus máscaras de gas como contramedida para el gas.



Zyklon-B.

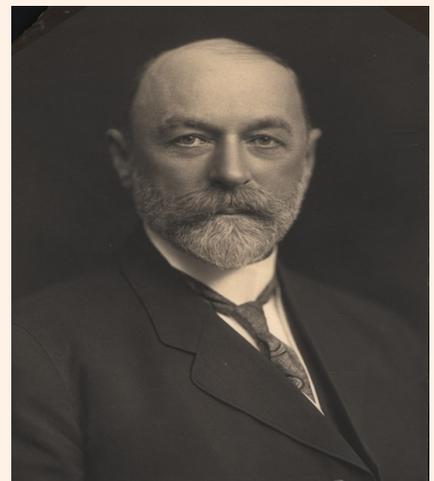


11. Nuevos materiales y productos químicos sintéticos.

En el siglo XX se han encontrado y puesto en circulación tantos materiales nuevos y tantos productos sintéticos, que se ha llegado a cambiar el medio en que se desenvuelve la vida de la humanidad. Este cambio ha coincidido con un desplazamiento de la actividad científica avanzada, cuyos centros más importantes han pasado, en lo que se llama mundo occidental, de Europa a Estados Unidos.

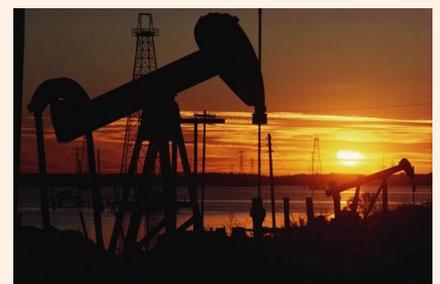
11.1. La Química en el inicio de la industria del petróleo.

La primera contribución importante es la del químico norteamericano de origen alemán Herman Frasch (1851-1914), que llega a Estados Unidos en 1868 durante la prosperidad de la posguerra civil norteamericana. No hacía muchos años que se había perforado el primer pozo de petróleo en Pensilvania y Frasch es lo bastante inteligente para especializarse en química e ingeniería del petróleo. Uno problema de esta industria es la gran cantidad de petróleo impuro que se obtiene y que no puede venderse porque contiene compuestos químicos de azufre, lo que impide su comercialización. En 1887, Frasch patenta un método para eliminar tales compuestos químicos por el uso de óxidos metálicos, con lo que la cantidad de petróleo que puede usarse se multiplica y se prepara la industria para la llegada del automóvil.



Herman Frasch.

La atención de Frasch se vuelve hacia el azufre, el valioso elemento químico que sirve para fabricar el ácido sulfúrico, producto químico de suma importancia para la industria y en Sicilia está el lugar que tiene el monopolio mundial del azufre por aquella época. En Luisiana y Tejas hay importantes yacimientos de azufre pero a gran profundidad. En 1894, Frasch soluciona los problemas técnicos y a partir de entonces se utilizan dichas reservas de azufre americanas, cesan las importaciones de Sicilia y se da un paso adelante hacia la independencia química de Estados Unidos respecto de Europa, proceso que tiene su culminación durante la Primera Guerra Mundial, que empieza tres meses después de la muerte de Frasch.



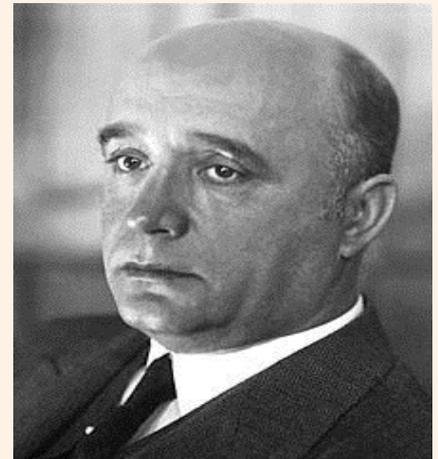
Pozo petrolífero.

La Primera Guerra Mundial repercute en la estructura de la industria química porque deja a los aliados fuera del circuito comercial alemán y a Alemania separada del mercado de materias primas. La economía de guerra obliga a los aliados a crear y favorecer su propia industria, la cual se consolida después de 1918 y contrarresta el predominio que había tenido antes la industria química alemana durante el siglo XIX.



En los Imperios Centrales hay escasez de muchas cosas y las necesidades de la guerra encauzan los esfuerzos hacia la consecución de abonos nitrogenados que aseguran las cosechas agrícolas, sin necesidad de aclarar que el ácido nítrico, necesario para fabricar abonos nítricos, sirve también para obtener explosivos.

En la Segunda Guerra Mundial se reproduce el cuadro pero con algunas variantes: En Alemania el problema de la alimentación no es tan acuciante, pues reciben alimentos de otras naciones, pero necesitan grandes cantidades de carburantes artificiales que alivien su tremenda escasez de petróleo. Por su parte, los aliados cuentan ya con una industria química pujante y el principal problema que tienen que resolver es la falta de suministro de caucho natural.



Friedrich Karl Rudolf Bergius.

El alemán Friedrich Karl Rudolf Bergius (1884-1949), influido por Haber, se interesa por las reacciones químicas a alta presión y en 1912 sintetiza hidrocarburos por hidrogenación de mezclas de aceite pesado con polvo de lignito en presencia de sulfuro de molibdeno como catalizador, por su resistencia a la acción del azufre. En 1927 logra la producción de gasolina sintética a escala industrial. Por otro lado, a partir de 1925, la BASF mediante el procedimiento de 1923 de los alemanes Franz Fischer (1877-1947) y Hans Tropsch (1889-1935), produce hidrocarburos líquidos (gasolina, keroseno, gasoil y lubricantes) por calefacción moderada del gas de síntesis (CO y H_2) en presencia de catalizadores. De esta forma, se inicia así en Alemania el camino de la producción de grandes cantidades de gasolina a partir de una materia prima distinta del petróleo. Este proceso, aunque es muy costoso económicamente, es desarrollado por razones estratégicas y fue una fuente importante de combustibles para Alemania en la Segunda Guerra Mundial.



Fischer (a la izquierda) y Tropsch (a la derecha).

La base del trabajo de Bergius sobre las gasolinas sintéticas está en las ideas del ruso Vladimir Nikolaevich Ipatieff (1867-1952), quien durante sus estudios en Munich con Baeyer determina en 1897 la estructura del isopreno, un hidrocarburo que es la base del caucho. Esto le introduce en el estudio de los hidrocarburos, que son la base de su trabajo científico en el resto de sus años. En 1900 hace el gran descubrimiento de que el desarrollo de las reacciones orgánicas llevadas a cabo a alta temperatura puede ser influido por la variación de dicha temperatura. Hasta entonces se había creído que a altas temperaturas las moléculas orgánicas se rompen en pedazos de manera desordenada y espontánea e Ipatieff aprende a dirigir el proceso. A lo largo de los años descubre el efecto de diferentes catalizadores y los detalles de distintas reacciones químicas. Una vez establecido en Estados Unidos en 1930, Ipatieff aplica sus procesos de las altas temperaturas catalizadas a la producción de nuevas mezclas de hidrocarburos, lo que ha sido de gran interés para el desarrollo de la industria petroquímica y su aplicación al mundo del automóvil.

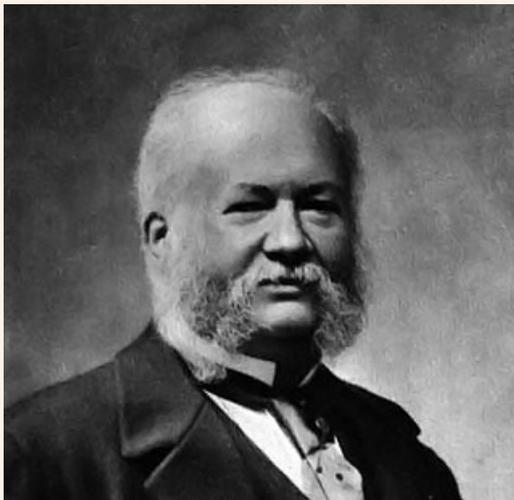


11.2. El desarrollo de los polímeros sintéticos.

Los polímeros sintéticos abarcan objetos muy comunes, desde accesorios eléctricos, utensilios de cocina, materiales de construcción en forma de tubos o planchas y hasta fibras textiles. Muchas sustancias naturales como el caucho o el algodón son polímeros, pero hasta 1900 son pocos los polímeros artificiales que habían aparecido y los que existían son modificaciones de polímeros naturales, como la celulosa nitrada o piroxilina, descubierta en 1861 por el inglés Alexander Parkes (1813-1890). Era un sólido duro que, calentándolo se ablandaba y se volvía inflamable hasta que en 1869 el estadounidense John Wesley Hyatt (1837-1920) la mejora buscando un sustituto del marfil para las bolas de billar, y desarrolla el mismo material de Parkes pero como celuloide.



Alexander Parkes



Louis Marie Chardonnet

En 1884, el francés Louis Marie Chardonnet (1839-1924) consigue la patente para la fabricación de fibras, al hacer pasar de una manera forzada soluciones de nitrocelulosa a través de pequeños agujeros y dejar después evaporar el disolvente.

La fibra de Chardonnet recibe el nombre de rayón, porque es tan brillante que parece desprender rayos de luz y es la primera



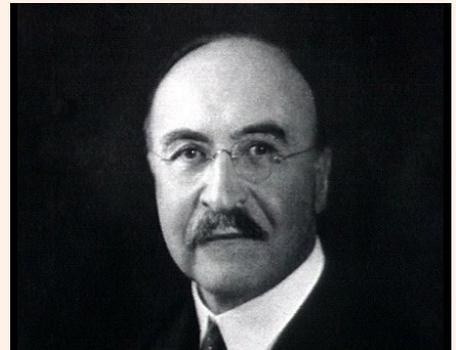
Fibra de rayón.

fibra artificial que se utiliza. Se llama también seda artificial y señala el camino para la obtención de las fibras posteriores, completamente sintéticas de Carothers medio siglo después.

En 1894, los británicos Charles Frederick Cross (1855-1935) y Edward John Bevan (1856-1921), buscando una alternativa no inflamable al nitrato de celulosa, patentan el acetato de celulosa, que es aplicado por el norteamericano George Eastman (1854-1924), fundador de la empresa fotográfica Kodak, como base de las películas que fabricaba, pero su mayor éxito le viene durante la Primera Guerra Mundial, al ser utilizado como barniz para las telas de las alas de los aviones.



El primer polímero totalmente artificial es la baquelita, obtenida por el belga-estadounidense Leo Hendrik Baekeland (1863-1944), que una vez instalado en Estados Unidos se dedica al proyecto de conseguir un sustituto de la goma laca y para ello investiga reacciones químicas orgánicas que producen sustancias gomosas. Cree encontrarlo en la reacción química entre el fenol y el formol, pero halla una resina insoluble, dura, muy resistente y buen aislante térmico.



Leo Hendrik Baekeland.



La baquelita es uno de los plásticos más extendidos del comercio. Es un producto termoestable que se endurece bajo el efecto del calor en lugar de hacerse plástico como el celuloide y es un material ideal como aislante de pequeños artículos domésticos.

En 1909 la presenta con el nombre de baquelita y sirve a la industria del automóvil para la elaboración de un importante número de piezas como conmutadores y sobre todo de la tapa del delco, después de que el estadounidense Charles Kettering (1876-1958) introduce en 1910 su sistema de arranque eléctrico, que elimina el uso de la manivela en los automóviles.

En este contexto no importa el color oscuro y apagado de la baquelita, pero para otros usos es deseable una resina que pueda ser teñida mediante la adición de pigmentos.

Dentro de los polímeros sintéticos del tipo de los termo-plásticos, el que ha tenido un mayor abanico de aplicaciones es el policloruro de vinilo o PVC, que es patentado en

Otros polímeros similares a la baquelita

Después de la baquelita, el número de plásticos sintéticos obtenidos por reacciones de polimerización de condensación ha sido muy grande. Las resinas de urea-formaldehído se difunden a partir de 1924 por la empresa británica British Cyanides. En 1935 aparecen en Alemania las resinas de melamina-formaldehído, desarrolladas por la empresa Henkel, famosa en el campo de los detergentes.

1912 por el alemán Fritz Klatte (1880-1934), ligado a la empresa Hoechst, pero hay que esperar a la década de 1930 para que em-



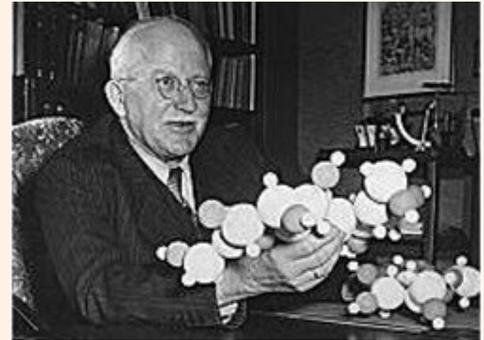
Tuberías de PVC.

piece a tener un desarrollo a escala industrial. Klatte es el descubridor de acetato de polivinilo, pero no del PVC, cuyo antecedente se debe al francés Henri Victor Regnault (1810-1878) que ya preparó en 1835 en el laboratorio cloruro de vinilo, pero no recibe más atención en dicha época y en 1872 el alemán Eugen Baumann (1846-1896) sintetiza PVC, pero tampoco obtiene un mayor interés y ni siquiera lo patenta.



El polietileno es un descubrimiento industrial británico realizado en los laboratorios del trust químico ICI (Imperial Chemical Industries) y patentado en 1937. Se trata de polietileno de baja densidad y la primera fábrica lo produce en 1939, antes del inicio de la Segunda Guerra Mundial.

El alemán Hermann Staudinger (1881-1965) estudia la naturaleza de las macromoléculas, naturales o artificiales, y el mecanismo de su formación a través de enlaces covalentes. Pone en claro que la composición química de las macromoléculas puede tener una influencia menor en sus propiedades que la masa molecular, la homogeneidad en el tamaño de las moléculas o el tamaño y forma de sus ramificaciones. Sus investigaciones en este campo se inician en 1922 y tienen una gran importancia en el desarrollo posterior de la Química-física de las macromoléculas, sustancias que proliferan notablemente a partir de la Segunda Guerra Mundial.



Hermann Staudinger.
En la Química Macromolecular, la introducción de elementos químicos metálicos o semimetálicos para obtener polímeros con unas propiedades mejores desde el punto de vista industrial ha abierto numerosas vías de investigación, impulsadas sobre todo por la industria aeroespacial.

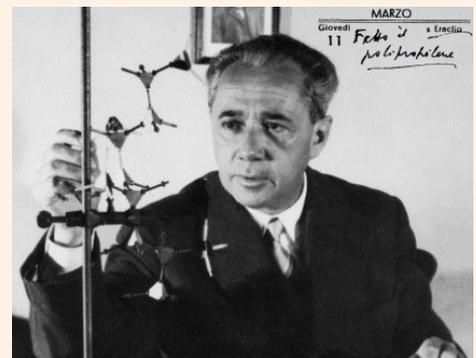
Las ideas de Staudinger son apoyadas por el norteamericano Wallace Carothers (1896-1937), que trabaja para la empresa Du Pont y llega a establecer concepciones similares, que le permiten desarrollar la química de los polímeros tanto sintéticos como naturales y obtener un gran número de nuevos polímeros, como poliésteres, poliamidas y neopreno.



Karl Ziegler.

Descubrimiento muy importante en la síntesis de polímeros es el uso como catalizadores de los compuestos organometálicos de Grignard, debido al alemán Karl Ziegler (1898-1973), quien en 1953 descubre el polietileno no ramificado, mucho más resistente y de temperatura de fusión más elevada que el polietileno anterior de baja densidad, con la utilización de compuestos químicos de aluminio o titanio como catalizadores.

La línea de trabajo emprendida por Ziegler la continúa el italiano Giulio Natta (1903-1979), que obtiene polipropileno mediante el uso de los catalizadores organometálicos. De



Giulio Natta.

esta forma el campo de utilidad de los polímeros se amplía a partir de la década de 1960 con la difusión de estos dos importantes polímeros, polietileno y polipropileno con las ramificaciones orientadas para mejorar sus propiedades físicas y químicas.



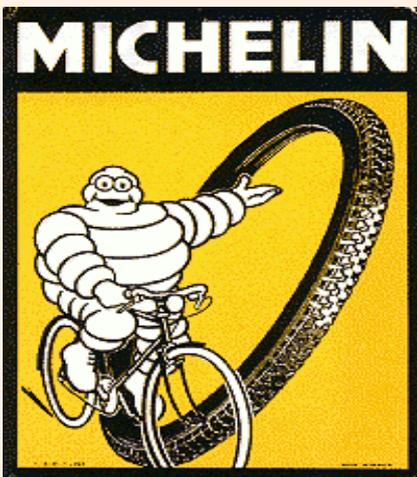
11.3. El caucho sintético.

Hasta el siglo XIX, el caucho procedente de los bosques de heveas de la Amazonia era una curiosidad que sólo tenía interés como goma de borrar de las faltas cometidas al escribir sobre papel. En 1823, el escocés Charles Macintosh (1766-1843) lo utiliza para impermeabilizar los tejidos y en 1844 el norteamericano Charles Goodyear (1800- 1860) inventa la vulcanización, que proporciona un caucho elástico y resistente.

La expansión del caucho vulcanizado se debe a su uso como neumático, primero en 1888 para bicicletas por el escocés afinado en Irlanda John Boyd Dunlop (1840-1921) y luego para automóviles, en 1895, por el francés Edouard Michelin (1859-1940), que patenta el primer neumático desmontable para ruedas. Con el desarrollo de la automoción comienza la gran demanda de caucho y la Amazonia se convierte en una zona estratégica. Los ingleses sacan semillas de heveas del Brasil y logran establecer plantaciones de heveas en Ceilán y Malasia, que compiten con las de Brasil.



Latex del hevea.



Anuncio de Michelin.

La dificultad que tuvo Alemania antes y durante la Primera Guerra Mundial para su suministro de heveas hizo que impulsase la investigación sobre el caucho sintético. En 1909, Friedrich Hofmann (1866-1956) de la Bayer obtiene el primer caucho sintético, y aunque sus propiedades son peores que las del caucho natural, es producido por la necesidad de producir neumáticos en gran cantidad durante la Primera Guerra Mundial.

Después de la Primera Guerra Mundial se pierde en parte el interés por el caucho artificial, hasta que en 1926 comienza de nuevo la investigación en Alemania con el objetivo claro de reemplazar el caucho natural por el sintético. En 1936, los neumáticos de automóvil hechos del caucho sintético buna, por

reacción de polimerización del butadieno catalizada con sodio, son ya mejores que los de caucho natural y pronto se comercializan otras variedades del buna.

Actualmente se fabrican miles de artículos de caucho para usos muy diferentes. El caucho es ampliamente utilizado en la fabricación de neumáticos, llantas, artículos impermeables y aislantes, por sus excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad.



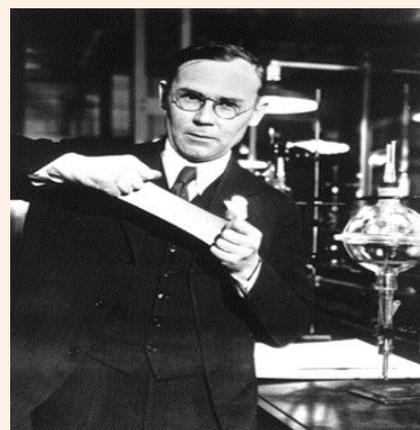
Otro químico belga-norteamericano es Julius Arthur Nieuwland (1878-1936), quien a partir de 1920 descubre que el acetileno se puede polimerizar para formar una molécula gigante que tiene algunas de las propiedades del caucho. Esto atrae la atención de otros químicos como el norteamericano Wallace Carothers con quien trabaja a partir de entonces de forma estrecha.

En 1931, en Estados Unidos la empresa Du Pont, ya convertida en una gran empresa del sector químico, fabrica un caucho sintético de propiedades muy específicas, el neopreno, bajo la dirección de Nieuwland y Carothers. No obstante, Alemania sigue a la cabeza en la investigación y producción de cauchos sintéticos y mantiene con Estados Unidos importantes acuerdos comerciales para proporcionar a los norteamericanos los cauchos sintéticos para neumáticos que produce, aunque el inicio de la Segunda Guerra Mundial provoca en Estados Unidos un cambio radical de política en este campo.



Nieuwland en su laboratorio.

Cuando el Japón corta el abastecimiento del caucho natural durante los trágicos meses después de Pearl Harbor, son los cauchos sintéticos los que conservan esta faceta esencial en el desarrollo de la economía norteamericana. En 1940 el presidente de Estados Unidos declara al caucho producto estratégico y se crea la Rubber Reserve Company, formada por industrias químicas y compañías petrolíferas para organizar la producción de caucho sintético. Ante la pérdida de las fuentes de abastecimiento de caucho natural de las plantaciones del Pacífico por el avance de Japón, la situación se hace dramática, pero gracias a la estrecha colaboración entre los laboratorios de las empresas y las universidades norteamericanas, se resuelve el problema y en 1942 entra en funcionamiento la primera factoría para obtener el caucho de butadieno-estireno y desde 1944 el caucho sintético norteamericano se produce en gran cantidad.



Wallace Carothers.

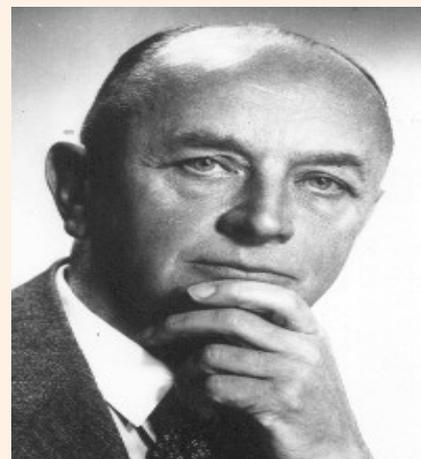
Ni Nieuwland ni Carothers viven lo suficiente para ver el desarrollo del neopreno y ni siquiera para entrever sus consecuencias. Algo similar le ocurre también a Carothers con sus investigaciones sobre lo que se denomina posteriormente el nylon 6,6, fibra más resistente que la seda, que la patenta en 1935, pero muere antes de poder ver su comercialización.

El neopreno es resistente al calor y a productos químicos como aceites y el petróleo, se emplea en tuberías de conducción de petróleo y como aislante, además los trajes aislantes de buceadores o surfistas son de neopreno. Existen numerosos tipos de cauchos sintético y entre ellos se puede citar el caucho de butilo, que es producido en 1949 por primera vez y es un polímero que se puede trabajar como el caucho natural, aunque es difícil de vulcanizar, y se utiliza en los tubos interiores de las llantas de los automóviles por su baja permeabilidad a los gases.



11.4. Compuestos orgánicos del boro y del silicio.

A partir de 1909, el alemán Alfred Stock (1876-1946) empieza el estudio de los hidruros de boro o boranos y encuentra que pueden obtenerse compuestos químicos parecidos a los hidrocarburos. Entonces no tienen aplicación alguna, pero medio siglo más tarde son importantes como aditivos al combustible de los cohetes espaciales para aumentar el empuje en su despegue de la capa atmosférica. Además, desde el punto de vista teórico pertenecen al campo de moléculas con deficiencia de electrones. Los boranos son sensibles a la humedad y al aire y muchos son muy inestables, de ahí el mérito de Stock al sintetizar entre la fecha citada anteriormente y 1936 seis compuestos distintos.



Alfred Stock.

Otra línea de trabajo es la del inglés Frederick Kipping (1863-1949) sobre las siliconas, labor a la que se dedica entre 1899 y 1937 y que realiza con la ventaja de conocer las investigaciones de Grignard sobre los compuestos organometálicos. Las siliconas adquieren durante la Segunda Guerra Mundial importancia como lubricantes, hidrófugos y elastómeros.

El conocimiento de las estructuras de los boranos y de las siliconas no se habría dado sin el progreso de la estereoisomería en otros elementos químicos que no tuvieran átomos de carbono. Así, William Jackson Pope (1870-1939) presentan pruebas de la existencia de estereoisomería en el nitrógeno y en otros elementos químicos, lo que avala que la teoría de Van't Hoff puede aplicarse a átomos de elementos químicos que no sean carbono.

El avance de la estereoisomería se debe al ruso-alemán Paul Walden (1863-1957), que continúa la labor de Van't Hoff, que descubre la inversión de Walden de 1896 en los mecanismos de reacción de reacciones químicas orgánicas. En sus análisis no son sólo los productos finales los que se investigan, sino también los que se obtienen en etapas intermedias, y cuyo estudio amplía mucho el conocimiento de la Química Orgánica del siglo XX y la formulación de importantes conceptos como los de efecto inductivo y mesómero por el inglés Christopher Ingold (1893-1970) en la década de 1930. En 1902 Pope prepara compuestos químicos ópticamente activos centrados en los átomos asimétricos de azufre, selenio y estaño. Más adelante demuestra que compuestos químicos que no tienen átomos asimétricos de ninguna clase son, sin embargo, asimétricos a causa de ciertas trabas que sufren en su interior, ampliando así la noción de estereoisomería hasta el concepto más amplio que prevalece hoy en día.



Christopher Ingold

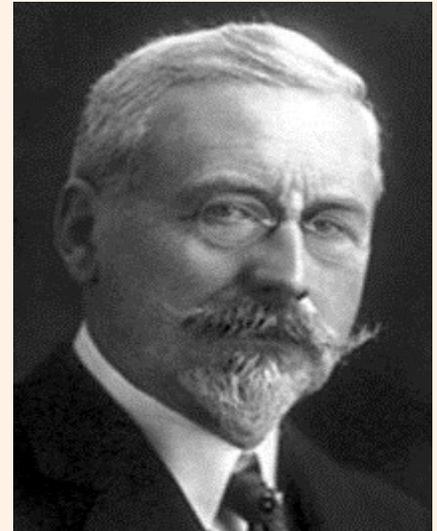
Su trabajo en mecanismos de reacción y estructura electrónica de compuestos orgánicos da origen a la introducción de conceptos tales como nucleófilo, electrófilo, efectos de resonancia y símbolos como SN1, SN2, E1, y E2 en la Química actual.



11.5. Los avances en nuevos materiales.

En el siglo XX se ha extendido la producción y el uso de aceros especiales, obtenidos por aleación del hierro con metales no utilizados con anterioridad como el cromo, molibdeno, vanadio, wolframio y niobio. En la primera decena del siglo, el suizo Charles Edouard Guillaume (1861-1938), buscando algún material barato para la construcción de unidades de longitud y de volumen, encuentra el invar, aleación de hierro y níquel de coeficiente de dilatación casi nulo y precio bajo, que ha sido de gran valor para la fabricación de muelles y piezas de relojería.

En 1919, el norteamericano Elwoor Haynes (1857-1925) patenta el acero inoxidable, que contiene cromo y níquel, y el metalúrgico japonés Kotaro Honda (1870-1954) obtiene un acero al wolframio y al cobalto, capaz de formar imanes mucho más potentes que el acero ordinario y abre el camino a las aleaciones magnéticas y ligeras.



Charles Edouard Guillaume.

En la industria de la automoción ha impactado el acero HSLA, que permite reducir el peso de la carrocería de los automóviles en un 35 %, mejorando además propiedades como la elasticidad, la resistencia al impacto y la torsión.



Alfred Wilm.



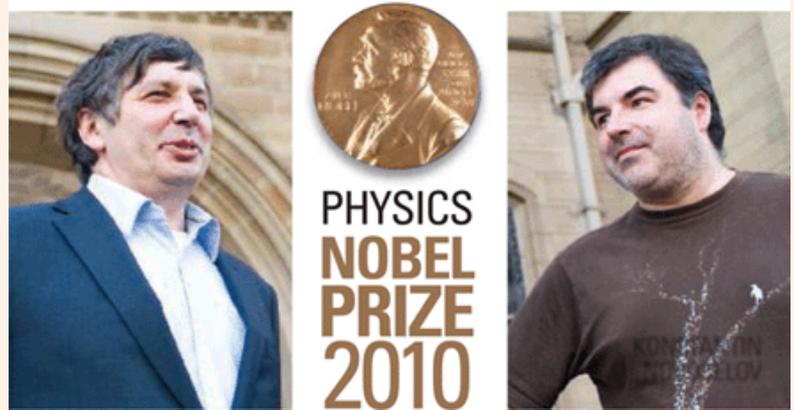
Avión Junker.

En 1909, el alemán Alfred Wilm (1869-1937) patenta la aleación duraluminio y empieza a utilizarse en estructuras constructivas, tales como los armazones de los zepelines y desde 1915 en las estructuras de los aviones completamente metálicos, como los aparatos Junkers. A partir de entonces las aplicaciones del aluminio no han dejado de crecer y la producción de aluminio sólo es superada en la actualidad por la del hierro y el acero.

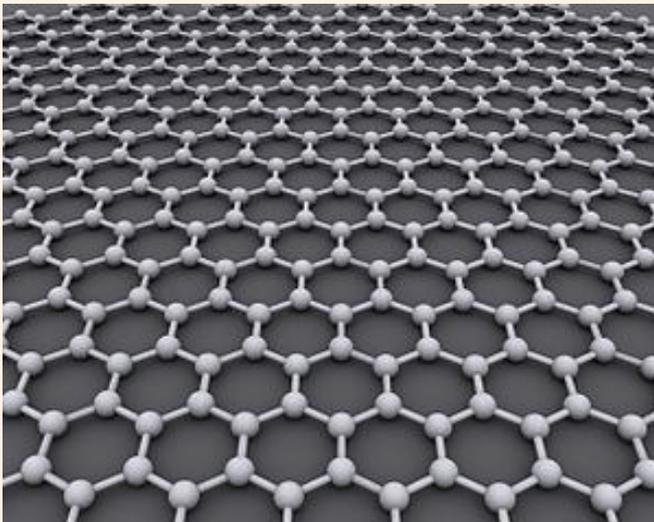


Un nuevo campo de los nuevos materiales metálicos es la fabricación de espumas de metales. Así, se han obtenido espumas de aluminio mediante una técnica desarrollada y patentada por el Instituto Fraunhofer de Bremen Alemania en 1990, conocida como fusión de polvos compactados, que permite obtener sólidos celulares con porosidad cerrada. Existen aplicaciones de metales, como el niobio y el tántalo, que se extraen de una asociación de minerales llamado coltán, y tienen aplicación en la industria de la electrónica y de la informática. Otro metal de gran importancia es el litio que se utiliza en las baterías de la telefonía móvil.

El grafeno es una estructura bidimensional laminar plana, de un átomo de grosor, formada por átomos de carbono densamente empaquetados en forma hexagonal mediante enlaces entre átomos de carbono, que ha tenido un repentino aumento del interés científico desde que el ruso-holandés Andre Geim (nacido en 1958) y el ruso-británico Konstantin Novoselov (nacido en 1974) consiguiesen aislar el grafeno a temperatura ambiente y recibieran por ello el Nobel de Física de 2010.



Andre Geim y Konstantin Novoselov



Grafeno.

La palabra grafeno se adoptó oficialmente en 1994, después de haber sido designado en el campo de la ciencia de superficies como monocapa de grafito.



La denominación coltán corresponde a la contracción del nombre de dos minerales bien conocidos, la columbita (COL), óxido de niobio con hierro y manganeso y la tantalita (TAN), óxido de tántalo con hierro y manganeso.

El coltán es una solución sólida entre ambos minerales.



12. Actividades.

1. ¿Por qué es conocido Paul Ehrlich?
2. ¿Cuál fue la trascendencia del descubrimiento de la noción de isótopo por Frederick Soddy?
3. ¿Por qué duró tanto la clasificación periódica de los elementos químicos hasta el número 92?
4. ¿Cuál es la aportación de Abegg en el desarrollo de la teoría del enlace químico?
5. ¿Hay alguna diferencia entre Walther Kossel y Albrecht Kossel?
6. Indica quién desarrolla los conceptos de resonancia y de hibridación de orbitales.
7. ¿A quién se debe el concepto de pH?
8. ¿Qué expresa la ecuación de Michaelis-Menten y por qué se llama así?

9. Pon un pie a las siguientes fotografías:

10. Explica los inicios de la introducción de la cromatografía en la Química.

11. ¿Tiene alguna relación el tubo fluorescente con el flúor?

12. ¿Cuándo se celebró la primera Conferencia Solvay de Química y con qué título?

13. Qué importancia tiene el famoso descubrimiento de Kary Mullis?

14. ¿Cuál es la procedencia del término vitamina?

15. Realiza una breve explicación de la historia del Proyecto del Genoma Humano.

16. ¿Por qué hechos es recordado Gerhard Domagk?

17. ¿Cuáles son las principales contribuciones de Haber a la Química?

18. Contesta las siguientes preguntas después de la lectura del siguiente texto: “El DDT se usó para controlar plagas agrícolas y forestales casi desde su descubrimiento. Era tan efectivo contra una variedad tan grande de insectos que se llegó a pensar que en un futuro no muy lejano sería posible eliminar a las plagas por completo. Los días de gloria llegaron a su fin antes que lo esperado. La opinión pública empezó a mirar al DDT con malos ojos en 1962, como consecuencia de la publicación de La primavera silenciosa, de Rachel Carson. Su libro es una apasionada advertencia acerca del peligro que representa la contaminación ambiental para la vida en la Tierra”. a) ¿A quién se debe el descubrimiento del DDT? b) ¿Es lo mismo insecticida que plaguicida? c) ¿Cuál puede ser el sentido del título del libro de Rachel Carson?

19. ¿A qué se llama revolución verde?

20. ¿Cuál puede ser la definición de Biotecnología?

