

Los polímeros, una
visión general sobre
su origen y desarrollo

CIENCIA

Los polímeros, una visión general sobre su origen y desarrollo

BERNABE L. RIVAS*

Antes de dar una definición de lo que se entiende por polímero, es necesario señalar algo sobre la naturaleza de la materia. Se acepta que ésta existe en millares de formas, sin embargo, éstas se pueden clasificar para facilitar su descripción. Una clase de sustancia que no es susceptible de ser reducida a materiales más simples, ni por cambios físicos ni químicos son los *elementos químicos*, los que abarcan materiales tan conocidos como hierro, cobre, plata u oro, y tan ignorados como lutecio y promecio, formados por un solo tipo de átomos. Otra clase de sustancia comprende los *compuestos químicos*, que son las sustancias que resultan de la combinación de dos o más elementos diferentes. Es natural que el número potencial de combinaciones de todos los elementos es enorme. El número de compuestos químicos que se reconocen hoy en día, es de varios millones, cuya complejidad va desde el agua hasta el ácido desoxirribonucleico, DNA, responsable de la transmisión hereditaria.

Tal como los elementos químicos se describen por símbolos, los compuestos químicos se especifican por fórmulas: una *fórmula química* es una representación simbólica de:

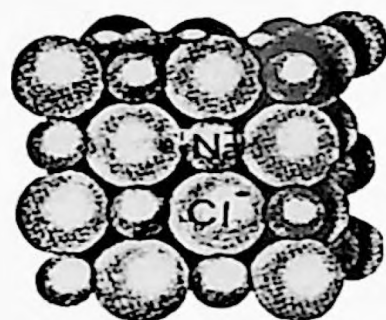
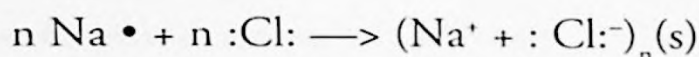
* BERNABÉ L. RIVAS: Presidente de la Sociedad Chilena de Química y Director del Departamento de Polímeros, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción.

1. Los tipos de átomos presentes en un compuesto.
2. Los números relativos de átomos de cada tipo.

Por otro lado, los químicos desde la mitad de siglo pasado determinaron que los átomos en una agrupación llamada molécula se mantienen unidos por enlaces químicos, encontrando pronto que cada tipo de átomo podía tener solamente un cierto número de enlaces, posteriormente llamados *valencias*.

Para explicar las características de las fuerzas que mantienen unidos a los átomos en las moléculas existe la *Teoría Electrónica del Enlace Químico*. Dada la gran variedad de compuestos químicos, esta teoría es muy compleja, y para poder comprenderla se recurre a lo que se denomina "Modelos", los cuales utilizando ciertas propiedades generales de los átomos, permiten explicar de manera relativamente simple, cómo se forman agrupaciones de ellos. Los tres modelos del enlace químico son el *iónico*, *covalente* y *metálico*.

El Modelo del enlace iónico fue propuesto en 1916 por Kössel y Lewis, en el cual ocurre una atracción electrostática entre los iones positivos y negativos. Un ejemplo de éste es el cloruro de sodio (sal común), compuesto que se mantiene unido por enlaces iónicos.



En el modelo molecular cada ion Na^+ (esfera pequeña) se rodea de seis iones Cl^- (esferas grandes); a su vez cada Cl^- se rodea de seis Na^+ .

Una explicación para la formación de agrupaciones de átomos en las cuales hay poca tendencia para la formación de iones, la propuso G. N. Lewis, quien consideró el enlace químico como la compartición de un par de electrones de valencia entre dos átomos. El enlace formado de esta manera recibe el nombre de *enlace covalente*. Un ejemplo de ello es la molécula de oxígeno, agrupación de dos átomos del dióxido de carbono, en que se combinan tres átomos, o del amoníaco, en que se combinan cuatro.



O₂



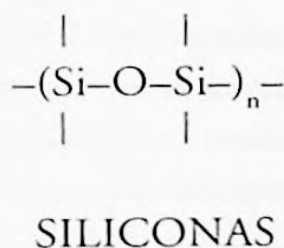
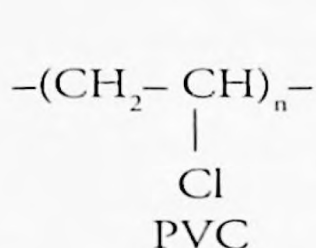
CO₂



NH₃

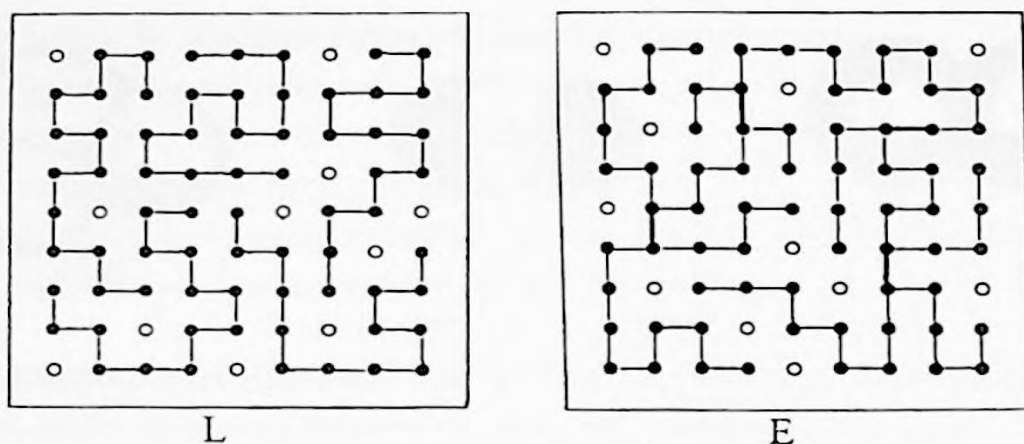
Si la agrupación por uniones tan fuertes que impiden la separación de los átomos en condiciones normales es de sólo unos pocos de ellos, se habla de compuestos moleculares. Si las agrupaciones de átomos están formadas por un número grande de ellos, quinientos, mil o más, se habla de polímeros o moléculas poliméricas. Obviamente existen también compuestos intermedios entre un monómero y un polímero propiamente tal.

En los polímeros, tanto naturales como sintéticos, los elementos que se encuentran con mayor frecuencia son C, H, N, O, en que fundamentalmente están unidos por enlaces covalentes, pudiendo encontrar otros elementos como Cl en el polivinilcloruro (PVC), o Si en las siliconas, etc.



Por otro lado, el término Macromolécula significa simplemente una molécula grande (del griego macros-grande) y a menudo se usa como sinónimo de “polímero”. Estrictamente hablando los términos no son equivalentes, ya que las “macromoléculas”, en principio, no requieren de estar compuestas de unidades estructurales de repetición, aunque en la práctica, generalmente están.

Asimismo, a veces se usa el término “resina” para referirse a cualquier material cuyas moléculas son polímeros. Originalmente, este término estaba restringido a secreciones naturales usualmente provenientes de árboles coníferas y usadas principalmente para cubrir superficies; posteriormente se han incluido sustancias sintéticas similares. En la actualidad, el término se utiliza generalmente para referirse a un precursor de un material polimérico entrecruzado, p. ej. resina epoxi, resina novolak.



Representación esquemática de un polímero lineal (L) y entrecruzado (E). ○ Moléculas de monómero, • Unidades de monómero en las moléculas de polímero. — Enlaces entre unidades de monómero en cadenas de polímero. — Entrecruzamiento entre cadenas de polímeros.

DESARROLLO HISTORICO DEL CONCEPTO "POLIMEROS"

Aunque en la actualidad el concepto de polímeros (o simplemente moléculas grandes) se acepta y comprende con cierta facilidad, en sus comienzos la situación fue algo diferente. En los 1850 se aceptaba la existencia de átomos y moléculas, pero fundamentalmente respecto a compuestos inorgánicos simples, no se podía comprender claramente la aplicación de estos conceptos a materiales orgánicos complejos.

En 1858 Kekulé sugirió que de alguna manera las moléculas orgánicas eran más grandes que las moléculas inorgánicas y consistían de átomos unidos por enlaces, formando cadenas. Con ello se derivó a que la forma en la cual se ordenaban los átomos en una molécula era importante, esto es, se daba la importancia al concepto de "estructura". Estos conceptos, junto a otros métodos de análisis, permitieron la elucidación de la estructura de muchos compuestos orgánicos simples tales como el ácido acético y el etanol, sin embargo, no se podía elucidar compuestos orgánicos más complejos, como la goma, la celulosa, la seda.

Sólo en 1861 se obtuvo una información importante, cuando Graham encontró que las soluciones de sustancias naturales como la gelatina o la albúmina difundían a través de una membrana a una velocidad muy lenta. Estos materiales se llaman "coloides", sustancias parecidas a la cola, albúmina derivada de cartílago y usada hasta hace poco por los mueblistas para pegar madera. Por el contrario, soluciones de materiales como azúcar o sal de cocina, difundían rápidamente; a estas sustancias se les llamó "cristaloides",

debido a que normalmente eran cristalinas. Aunque el motivo de estas diferencias no estaba claro, se suponía que las partículas de soluto coloides eran más bien grandes por lo cual estaba impedido su paso a través de la membrana. Eran muy pocas las sugerencias que postulaban que los coloides tenían un alto peso molecular y de esta manera una partícula de soluto era grande, simplemente porque ella comprendía una molécula grande. Sin embargo, este punto de vista no era totalmente aceptado por la mayoría de los científicos de la época. Ya en esta época, la práctica de la química orgánica exigía la preparación de compuestos cristalinos de gran pureza, con análisis elemental exacto y puntos de fusión definidos. Así se tenía la impresión que si los coloides eran purificados, ellos cristalizarían y se transformarían igual que los compuestos orgánicos “normales” de bajo peso molecular. Esta idea tenía apoyo por el hecho que se pueden preparar muchos compuestos inorgánicos aparentemente de bajo peso molecular, de manera que ellos se comportan como coloides, p. ej., sulfuro arsenioso coloidal, cloruro de plata y oro metálico. Así se sostuvo que en estos casos las partículas coloidales son agregados de partículas más pequeñas que se mantienen unidas mediante fuerzas de valencia secundarias de algún tipo. Incidentalmente, en la literatura se denominaba “polímeros” a grupos asociados físicamente. Esta visión se mantuvo y con énfasis en la concepción de las fuerzas de van der Waals en los 1890 y a comienzos de los 1900. Análogamente, se asumía que los coloides orgánicos eran agregados moleculares o micelas, concepto que aún era posible encontrarlo en la literatura de los 1940.

El primer trabajo que tuvo una visión claramente opuesta a la anterior fue la de Hermann Staudinger, químico alemán, en 1920. El sostenía que las propiedades de los coloides de los materiales orgánicos se debían simplemente al gran tamaño de las moléculas individuales y que tales moléculas contienen solamente enlaces primarios de valencia. Sus primeras evidencias le fueron adversas. Primero, él demostraba que los materiales orgánicos retenían sus propiedades coloidales en todos los solventes en los que se disuelven, lo cual está en contraste con lo que ocurre a la asociación de coloides inorgánicos, los que a menudo pierden sus características coloidales al cambiar el solvente. En segundo lugar, él demostró que contrario a lo que se esperaba las modificaciones químicas no destruían las propiedades coloidales de los materiales orgánicos. En esa misma época se postulaba en forma bastante común que la goma natural era un material cíclico formado por residuos de isopreno unidos en anillos de varios

tamaños. Es así como se suponía que tales moléculas se agregaban a través de fuerzas secundarias de valencia que surgían de la presencia de dobles enlaces. La estructura cíclica tenía apoyo por la falta de evidencia para demostrar la presencia de grupos finales. Sin embargo, Staudinger demostró que la hidrogenación de la goma natural produce un material saturado que aún presentaba propiedades de coloide. De esta manera él demostraba que las fuerzas secundarias que se originaban de la insaturación de la goma natural son distintas de las responsables del comportamiento coloidal. Posteriormente fue un importante apoyo para la existencia de macromoléculas el desarrollo de métodos de determinación de pesos moleculares. Hasta esa época sólo era posible el uso de métodos crioscópicos, los cuales no eran adecuados para moléculas de peso molecular muy alto.

Fue sólo alrededor de 1930 que se estableció firmemente el concepto de polímeros, aunque no universalmente. Fue el trabajo de Carothers en USA que aseguró finalmente el punto de vista macromolecular. Su estudio, que se inicia en 1929 y que tenía entre sus objetivos establecer la obtención de polímeros con una estructura definida, mediante el uso de reacciones de la química orgánica, y elucidar la relación entre la estructura y las propiedades de los polímeros, fue exitoso y develó el misticismo de este campo de la química.

A través de los trabajos de Carothers se desarrolló en forma comercial posteriormente el nylon, el cual se introdujo en el mercado en 1940.

Sin embargo, era necesario nuevos descubrimientos. Por ejemplo, el plegamiento de cadenas se descubrió en 1957, lo cual era desconocido por Staudinger en los años 20. Staudinger había tratado por otros medios de probar que sus masas molares “altas” eran correctas. El eligió medidas de viscosidad, pudiendo haber preferido el uso de la llamada ultracentrífuga analítica, pero las autoridades económicas no estaban muy deseosas de gastar mucho dinero en este nuevo y caro instrumento. ¿Parecen palabras familiares, no?

¿Por qué una ultracentrífuga? Staudinger, tal como se mencionaba anteriormente, estaba trabajando con macromoléculas sintéticas, las cuales no se consideraban como modelos para polímeros biológicos. El hecho es que la idea de macromolécula se desarrolló en el ámbito de la bioquímica prácticamente en forma independiente de la misma idea de la química orgánica y la física. James B. Summer en 1926 cristalizó exitosamente la enzima ureasa. Las enzimas forman soluciones acuosas coloidales. Los coloides podían de esta manera cristalizar sin perder su reactividad química. Los químicos orgánicos no le prestaron mucha atención. Sin embargo, el

sueco Theodor Svedberg demostró en 1924-1927 con su recientemente inventada ultracentrífuga que las enzimas siempre presentaban la misma masa molar, independiente de las condiciones. Estas ultracentrífugas someten a las moléculas y partículas a fuerzas de gravedad de hasta 500.000 veces la gravedad de la Tierra (500.000 G); para comparación, los astronautas tienen una sobrepresión de solamente 9 G. Las altas fuerzas gravitacionales en el rotor de una ultracentrífuga producen el movimiento de las moléculas hacia la sedimentación. Las moléculas más grandes se mueven más rápido que las pequeñas, permitiendo a Svedberg calcular la masa molar de las enzimas a partir de su velocidad de sedimentación durante la ultracentrifugación.

El hecho que la masa molar de una enzima en particular sea constante bajo varias condiciones, como temperatura o concentración de las soluciones salinas, implicaba que las masas molares de las enzimas como la hemoglobina no podían tener su origen en fuerzas secundarias entre subunidades más pequeñas. De esta manera, las enzimas tenían que ser macromoléculas. Posteriormente en 1938, Arne Tiselius de Suecia, encontró que las enzimas siempre tenían la misma carga eléctrica por masa, lo cual era muy diferente del comportamiento de los coloides inorgánicos.

Ya que Staudinger no pudo disponer de un instrumento tan caro como la ultracentrífuga, debió conformarse con realizar sus estudios con uno bastante más barato como el viscosímetro.

En 1931, W. Haller demostró que las cadenas de las macromoléculas no eran rígidas, como pensaba Staudinger. Los átomos de las cadenas pueden rotar alrededor de sus enlaces de valencia. Así el suizo W. Kuhn concluyó, a partir de este tipo de rotación, que las macromoléculas deben formar ovillos.

La idea de estructuras químicas en cadenas para aquellos compuestos como la goma natural, la celulosa, el poliestireno y el policloruro de vinilo tomó fuerza lentamente durante los primeros años de los 30. Después de la Segunda Guerra Mundial, ya no se dudó de la existencia de las macromoléculas. En 1953 Staudinger fue galardonado con el Premio Nobel de Química, treinta años más tarde de su pionero trabajo.

¿Cómo representar un polímero? Los químicos una vez más demuestran su ingenio para representar gráficamente lo que ocurre en una cadena de polímeros. El polietileno, por ej., tiene muchos grupos (CH_2) unidos en la cadena polimérica, la cual puede representarse de muchas maneras, dependiendo si se desea enfatizar en el tipo de enlaces químicos, en el ángulo entre enlaces de cadena, longitudes de enlace, etc. Así por ejemplo, si uno está

básicamente interesado en los enlaces de cadena será muy útil la fórmula con pares de electrones (Figura 1) o enlaces de valencia (Figura 2) y las correspondientes formas abreviadas (Figuras 3 y 4). La línea llena de los extremos de la cadena indica que la cadena se extiende posteriormente.

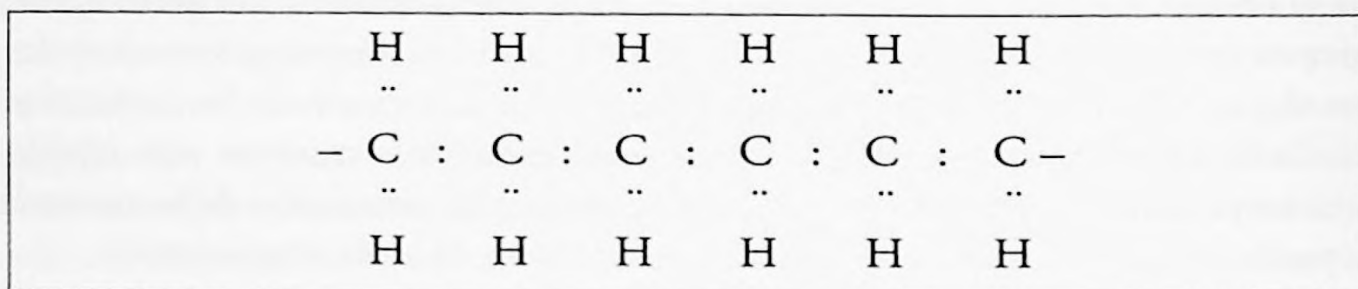


Fig. 1. Fórmula del polietileno con pares de electrones.

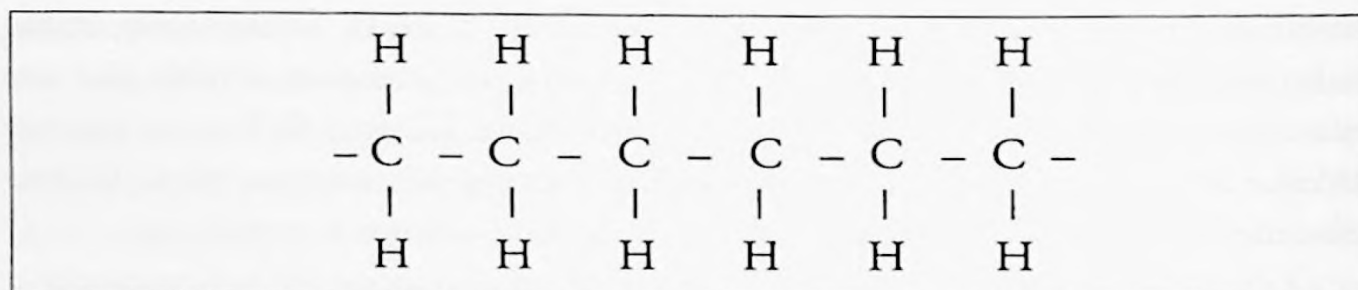


Fig. 2. Fórmula con enlaces de valencia.

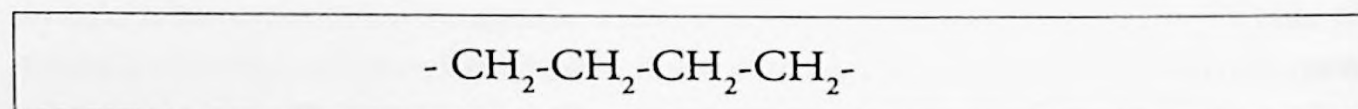


Fig. 3. Fórmula abreviada con enlaces de valencia.

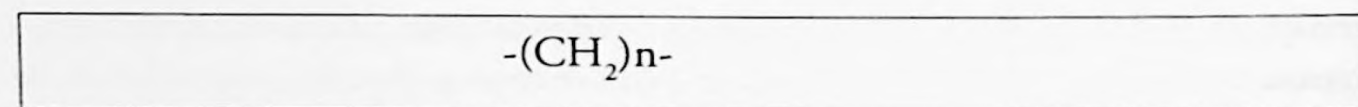


Fig. 4. Fórmula abreviada general

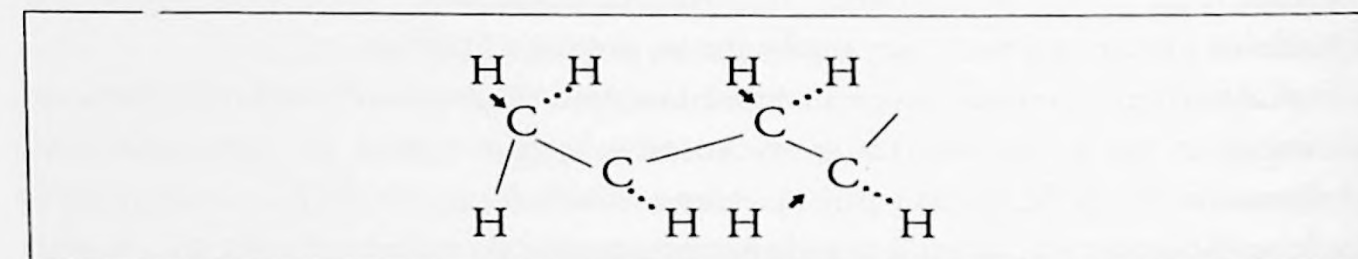


Fig. 5. Fórmula tridimensional. (la línea llena indica el plano del papel, la punteada hacia atrás del plano del papel y la cuña llena hacia adelante de dicho plano).

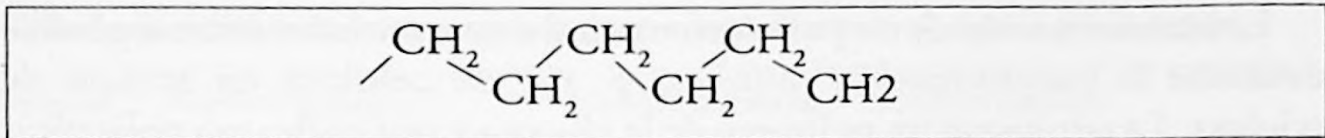
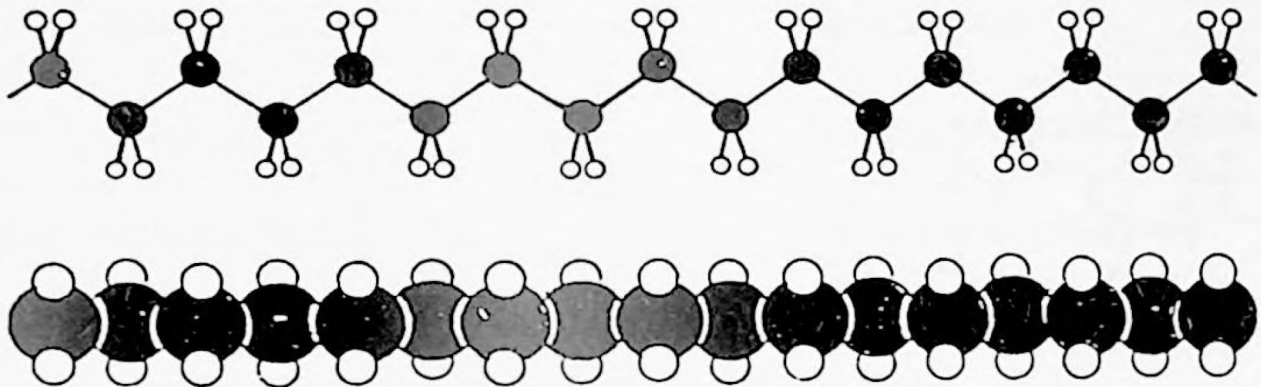


Fig. 6. *Fórmula tridimensional abreviada.*



Fig. 7. *Fórmula tridimensional reducida.*



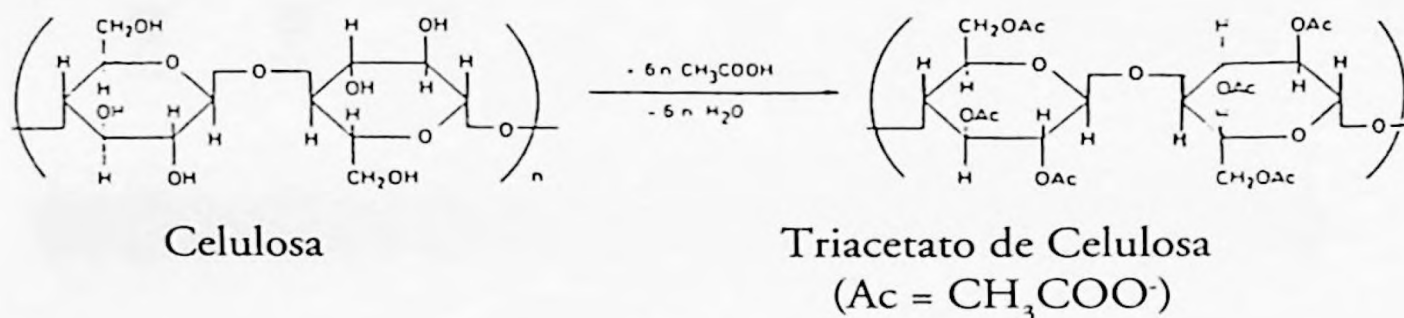
Diferentes modelos de una cadena de polietileno (esferas negras, carbono; esferas blancas, hidrógeno).

Son muchos los polímeros semisintéticos y sintéticos, que se han usado comercialmente. Algunos de éstos se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1 *Algunos de los primeros polímeros industrializados.*

Polímero	Año de Descubrimiento	Año de Producción	Aplicaciones Típicas
Nitrato de celulosa	1846	1869	Armazón de espectáculos
Acetato de celulosa	1865	1927	Películas fotográficas y de empaque, fibra
Cloruro de polivinilo	1830	1914	Marcos de ventanas, cuero artificial
Cloruro de vinilideno	1938	1939	Empaque
Poliestireno	1839	1930	Pequeños contenedores, espumas, juguetes
Polimetilmetacrilato	1880	1928	Señales de advertencia
Polietileno	1932	1939	Bolsas, botellas de leche
Fenolformaldehido	1906	1909	Aislante eléctrico
Vulcanización de goma natural	1839	1850	Neumáticos
Poliisopreno	1879	1977	Neumáticos
Polibutadieno	1911	1929	Neumáticos

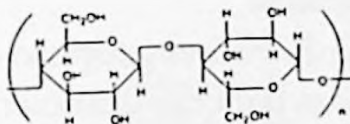
La transformación de un polímero natural a uno semisintético es posible mediante la transformación química, p. ej., de celulosa en acetato de celulosa. La celulosa es un polímero de la glucosa y por ende una poliazúcar o polisacárido, cuyos grupos hidroxilos son transformados a un éster mediante reacción con ácido acético. Sin embargo, el esqueleto de la cadena de celulosa no cambia durante la esterificación, sólo los grupos hidroxilos laterales son los que reaccionan.



Quizás entre los polímeros de mayor conocimiento en la sociedad están las fibras textiles. Entre éstas, están las sedas o más exactamente las sedas naturales, las cuales son producidas por un cierto número de insectos (ciempiés, arañas). La leyenda dice que la seda ya fue conocida por el Emperador chino Huang-Ti en el año 2600 antes de Cristo. Los secretos de la manufactura de la seda fueron guardados celosamente por varios gobernantes, pero el año 555 después de Cristo, monjes llevaron de contrabando huevos del gusano de la seda desde la China a Europa, transformando luego a Sicilia en un centro de la seda. En Lyon, Francia, la industria de la seda se estableció durante el siglo XVI, pero en el siglo XIX la existencia de la industria de la seda en Francia se vio amenazada por la enfermedad del gusano de la seda. Este desastre económico motivó a la investigación en busca de una seda artificial. De esta manera el francés Chardonnet en 1884 descubrió la primera seda artificial a partir de nitrato de celulosa. Esta nueva “seda Chardonnet” se exhibió en 1889 en la Exhibición Mundial de París. Dos años más tarde se iniciaba la producción comercial. Algunos otros ejemplos se encuentran incluidos en la Tabla 2.

Quizás entre los polímeros el más conocido sea el polietileno, el cual es un “viejo” plástico.

Tabla 2. *Nombres, nombres comerciales y estructuras químicas de algunas fibras textiles.*

Lenguaje	Nombre químico	Nombre comercial	Estructura química de la unidad repetitiva
Lana	Mezcla de varias proteínas		-NH-CHR-CO- con varios R)
Seda	Mezcla de varias proteínas		-NH-CHR-CO- con varios R
Nylon o poliamida	Policaprolactama	Perlon Grilon	-NH-(CH ₂) ₅ -CO
	Polihexametilenadipamida	Nylon Celon	-NH-(CH ₂) ₆ -NH-CO-(CH ₂) ₄ -CO-
Poliéster	Polietilentereftalato	Dacron Diolen Fartrel Tergal Terylen Trevira	-O-CH ₂ -CH ₂ -O-OC-⊙-CO-
Acrílico	Poliacrilonitrilo	Acrilan	-CH ₂ -CH- CN
		Dralon Orlon	
Algodón	Celulosa		
Rayón	Celulosa	Muchos	idem

* = R son grupos químicos sustituyentes como p. ej. -CH₃.

Los investigadores de la Royal Chemical Society de Inglaterra trataron en 1933 de comprimir etileno gaseoso sometido a altas presiones, para estudiar las propiedades del etileno bajo estas condiciones; sin embargo el etileno polimerizaba a polietileno, sin lograr tampoco reproducibilidad, ya que el polietileno no siempre se formaba.

Muchos historiadores piensan que la batalla de Bretaña durante la 2ª Guerra Mundial no la ganaron ni los generales ni los soldados, sino el polietileno. Este plástico es un excelente aislante eléctrico puro en instalaciones de alta frecuencia. Este tipo de material era el que se necesitaba con

urgencia para el recientemente desarrollado radar, el cual permitía localizar las rutas de los bombarderos alemanes y de esta manera alertar a las posiciones británicas. Sin el polietileno no había radar y sin radar no había alerta y sin la adecuada alerta no podía haber una exitosa defensa.

HELICES EN LOS POLIMEROS

Entre las macromoléculas helicoidales están los ácidos desoxirribonucleicos (ADN), las macromoléculas del código genético. Algunos los asocian a la llamada α -hélice que se encuentra en las proteínas.

Tanto los ácidos desoxirribonucleicos como las proteínas son polímeros naturales. Las estructuras helicoidales fueron descubiertas por Staudinger y su colaborador H. Lohmann en una macromolécula sintética, polióxido de etileno. Posteriormente Sauter también publicaba que el polioximetileno mostraba una estructura de tipo helicoidal.

Estos científicos no usaron la palabra "hélice". Ellos hablaron más bien de espirales y tornillos, aunque en alemán la palabra "Schraube" significa tanto "tornillo" como "hélice", por ej., la hélice de un barco se llama "Schraube".

C. S. Hanes propuso en 1937 una estructura espiral para el polisacárido amilosa para explicar ciertas propiedades físicas. R. Rundle 6 años más tarde confirmó esto mediante medidas de Rayos X, siendo ésta la primera prueba experimental de la naturaleza helicoidal de un polímero natural. La α -hélice de poli(aminoácidos) y las proteínas fue la siguiente hélice que se descubrió (Tablas 3 y 4).

Las hélices y dobles hélices son muy importantes para los procesos químicos de la vida. Primero porque la división y la multiplicación de ADN precede a la división y multiplicación de células vivas. Segundo, porque produce fortalecimiento y endurecimiento de las cadenas. Tercero, porque la formación de una hélice es un método muy económico para acomodar grandes cantidades de macromoléculas en espacios muy pequeños.

Es indudable que tras estos orígenes, el desarrollo de los polímeros ha sido vertiginoso, siendo cada vez mayores los campos de aplicación tecnológica, producto del creciente interés de los químicos, biólogos, ingenieros, etc., por incrementar el conocimiento sobre los polímeros.

Tabla 3. *Proposiciones y comprobación experimental de la presencia de hélices en polímeros.*

Macromoléculas	Tipo de hélice	Propuestas por	Determinada Experimentalmente por	
Oxido de polietileno	simple	1932 H. Staudinger H. Lohmann	1932	H. Staudinger H. Lohmann
			1933	E. Sauter
Amilosa	simple	1937 C.S. Hanes	1943	R. Rundle R. Baldwin, D. French
Polipropileno isotáctico	simple	1942 C.W. Bunn	1953	G. Nata, P. Corradini
Poli(a-aminoácidos) y proteínas	simple	1943 M.L. Huggins	1951	L. Pauling R.B. Corey
Acido Desoxirribonucleico	doble	1953 J.D. Watson F.H.C. Crick		Observaciones experimentales de varios autores.

Tabla 4. *Macromoléculas con presencia de hélices.*

Macromoléculas	Ejemplo	Número de unidades por vuelta
Poli(a-olefinas)	Polipropileno isotáctico, R=-CH ₃	3
(CH ₂ -CH ₂) _n	Poli(3-metil-1-buteno) isotáctico con R =CH-(CH ₃) ₂	4
Poli(a-aminoácidos) y proteínas	Unidades L en a-hélice	3.6
(NH-CH ₂ -CO-) _n	Unidades D en a-hélice	3.6
Poli(D-sacáridos)	Varios	Varios
Acido desoxirribonucleico	Forma B	10

Desde la mitad de los años 60, a los polímeros se les ha reconocido en forma creciente como especies orgánicas capaces de comportarse como reactivos y susceptibles bajo condiciones apropiadas, a transformaciones químicas que también presentan las moléculas pequeñas. Este concepto fue introducido por Merrifield en 1963, cuando incorporó su “técnica en fase sólida” para la síntesis de péptidos. En esta técnica, se usa un polímero insoluble como un grupo protector, proporcionando de esta forma un método fácil para aislar y purificar el producto principal de los laterales formados en cada etapa de la reacción de condensación. Bajo esta técnica se han sintetizado proteínas en un tiempo bastante menor al que se emplearía usando los métodos tradicionales, además de los menores inconvenientes para la eliminación de impurezas o contaminantes. Todo ello involucra, entre otros, un gran impacto en la industria farmacéutica.

Es así como también los polímeros han sido y son importantes: en la industria automotriz, aeronáutica o espacial, por el uso de componentes o piezas de distintas propiedades; en medicina, a través de sistemas de liberación controlada de fármacos, en sistemas de implante (Tablas 5 y 6) como válvulas de corazón, marcapasos, catéteres, dializadores, destacando la importancia que tiene la investigación para desarrollar un corazón “plástico”; en el medio ambiente, a través de resinas purificadoras de agua, o de separación de metales; en la agricultura, por el uso de sistemas de liberación controlada de pesticidas, lo cual evita entre otros problemas la polución generada por los pesticidas convencionales; en la construcción, mediante el uso de materiales poliméricos resistentes a la llama; en la industria optoelectrónica, mediante los polímeros cristal líquido.

Tabla 5. *Polímeros usados como Biomateriales.*

Polímero	Uso
Poliuretanos	Arterias y otros sistemas de contacto sanguíneo.
Polimetilmetacrilatos	Restauraciones Dentales Oftalmología Fijación de huesos/unión de prótesis.
Politetrafluoretileno	Arterias, Tejido blando.
Polietileno	Reemplazo de Articulaciones.
Poliésteres	Arterias, Suturas.

Tabla 6. *Algunas aplicaciones de sistemas implantados.*

Area Clínica	Implante	Tejido reemplazado
Cirugía Ortopédica	Fijación de Fracturas	Hueso
	Reparación de Ligamentos	Ligamento
Cirugía Cardiovascular	Válvulas Cardíacas	Válvula cardíaca
	Mecánica	
	Prótesis Vascular	Vaso sanguíneo
	Marcapasos	Nervio
Oftalmología	Lentes Intraoculares	Cristalino
Maxilofacial	Implante Dental	Dientes
	Reconstrucción Mandibular	Hueso
Cirugía Plástica	Reconstrucción de Senos	Tejido blando

Sin embargo, el desarrollo también sostiene algunos problemas aún no resueltos, ya que si bien uno de los avances más importantes fue el uso de plásticos en diversas actividades como en el empaque y envases, su uso masivo conlleva en la actualidad a uno de los graves inconvenientes con que se encuentra la sociedad actual, y que es la contaminación por este tipo de plásticos difícilmente degradables. En diversos laboratorios de investigación se buscan alternativas para resolver esta situación. Una es el diseño de plásticos biodegradables y la otra es la reconversión. Sobre la primera se han hecho grandes esfuerzos sin obtener los resultados que se deseaban y se tiene la impresión que la posibilidad más cercana para resolver la situación planteada es la reconversión. Esta se puede enfocar de dos maneras. Una, es someter el material polimérico nuevamente a proceso para la obtención de un “nuevo” plástico, y la segunda, la descomposición química o física de los polímeros, que permita la recuperación de los componentes iniciales, esto es, los “monómeros”, para luego utilizar éstos nuevamente como materiales de partida en la obtención de polímeros.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Prof. B. Seeger por sus valiosas sugerencias.

REFERENCIAS

1. *Organic Polymer Chemistry*, Second Edition, K.J. Saunders Chapman and Hall (1988).
2. *Principles in Polymer Chemistry*, Second Edition. George Odian, Editorial John Wiley and Sons (1986).
3. *Functionalized Polymers, and Their Applications*, A. Akelah and A., Moet, Chapman and Hall (1990).
4. *Applications of Polymers*, editado por Raymond B. Seymour and Herman F. Mark, Plenus Press, New York and London (1987).
5. *Polymeric Delivery Systems. Properties and Applications*, editado por Magda A. El-Nokaly, David M. Piatt, and Bonnie A. Chapentier. ACS Symposium Series 520 (1993).
6. *Mega Molecules*, Hans-Geor Elias, Springer Verlag 1987.
7. *Aspects of the Merrifield Peptide Synthesis*, Christian Birr, Springer Verlag (1978).