



# **POLÍMEROS: DE MACROMOLÉCULAS A MATERIALES**

“La contribución de los materiales que conocemos vulgarmente como *plásticos* es tal que, hoy por hoy, es difícil imaginar nuestra sociedad sin ellos.”

**POR MILAGROS PIÑOL  
Y LUIS ORIOL**



## Polímeros: de macromoléculas a materiales

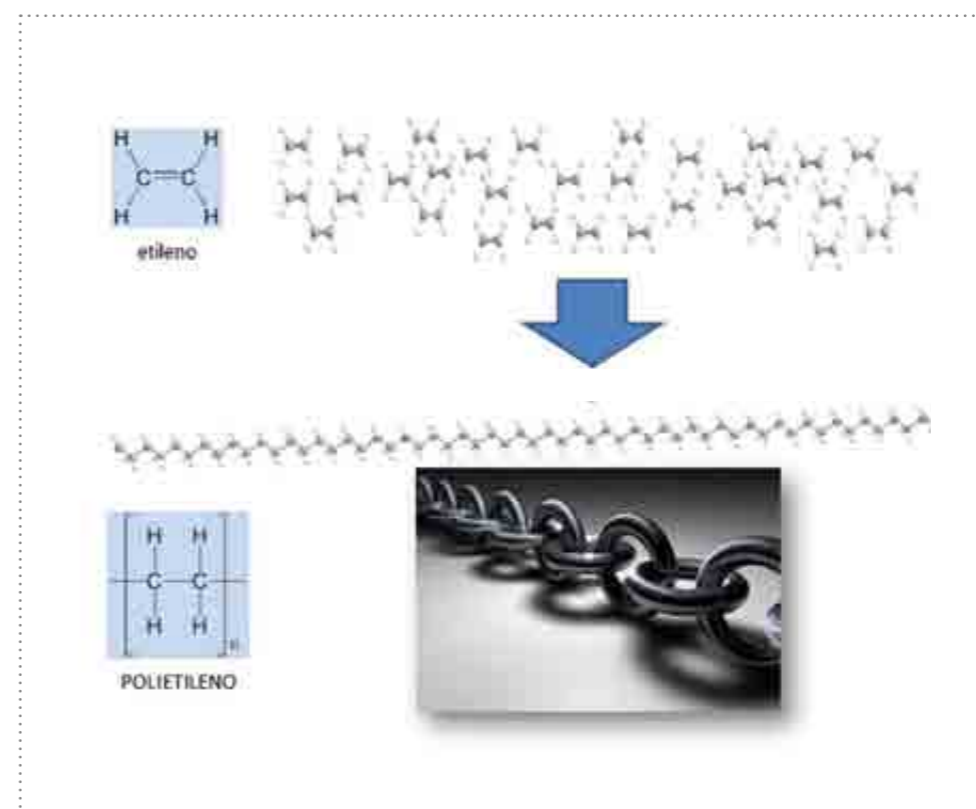
**IE**s de plástico! Cuántas veces habremos escuchado esta expresión, generalmente para referirnos a un objeto construido en un material poco "noble", que solemos asociar a barato y, en ocasiones, a problemas medioambientales al final de su ciclo de vida. Esta impresión, que afortunadamente ha ido cambiando a lo largo del tiempo, puede ser cierta si nos referimos a la bolsa que, ahora, nos cobran en el supermercado y que por una nefasta gestión puede acabar en el mar. Pero la contribución de los materiales que conocemos vulgarmente como *plásticos* es tal que, hoy por hoy, es difícil imaginar nuestra vida sin ellos y desde luego transciende la aplicación anterior.

**“El ser humano empleó los polímeros como materiales desde mucho antes de que se estableciera su naturaleza química.”**

### ¿QUÉ SON LOS PLÁSTICOS?: STAUDINGER Y LA HIPÓTESIS MACROMOLECULAR

Lo primero que debemos precisar es que los químicos denominamos a los compuestos que constituyen los plásticos como *polímeros*; este es su nombre correcto. Aunque debemos precisar que al polímero se le suelen añadir diversos aditivos para modificar propiedades base y generar el "plástico" final. A pesar de su ubicuidad actual, la historia de los polímeros no es tan larga como podríamos suponer. Se conoce como polímeros a moléculas de elevada masa molecular que están formadas por una unidad menor que se repite múltiples veces, de forma análoga a lo que ocurre con una cadena constituida de eslabones enlazados.

Esta unidad menor, o unidad repetitiva constitutiva, deriva del monómero que se utiliza en la síntesis del polímero a la que llamamos reacción de polimerización. Así de la polimerización del etileno, o unión sucesiva de moléculas de etileno, surge el polietileno. El término polímero proviene del griego y significa "muchas partes",



**Moléculas de etileno monómero (arriba) y macromolécula de polietileno (abajo) que se asemeja a una cadena de múltiples unidades repetitivas (n es el grado de polimerización o veces que se repite la unidad repetitiva constitutiva).**

Figura cedida por los autores.

y es obvio el significado de monómero. Por su elevada masa molecular, los polímeros son también denominados como *macromoléculas* (curioso el prefijo "macro" para referirse a moléculas que suelen estar en la escala "nano", ¿verdad?).

Parece una definición simple, casi una obviedad... pues costó ser aceptada por la comunidad científica. Y de esto no hace tanto. En 1922 un químico orgánico, Hermann Staudinger, definió por primera vez el término *macromolécula* en un artículo sobre la hidrogenación del

caucho y su constitución,<sup>1</sup> aunque ya en 1920 había comenzado su interés en el proceso de polimerización.<sup>2</sup> Sin embargo, sus propuestas chocaron con las ideas de la época que consideraban los polímeros como sistemas coloidales o agregados de moléculas más pequeñas. Y la disputa fue larga... casi diez años hasta que las evidencias experimentales fueron demasiado abrumadoras incluso para químicos tan reconocidos como Emil Fischer o H. Otto Wieland. El tiempo terminó dando la razón a Staudinger, tan brillante como testarudo, y que, en palabras de H. Ringsdorf,<sup>3</sup> tuvo que abandonar el

1. Staudinger H. y Fritsch J. *On the hydrogenation of rubber and on its constitution*. Helv. Chim. Acta 1922, 5, 785.
2. Staudinger H. *On polymerization*. Ber. Dtsch. Chem. Ges. 1920, 53, 1073.
3. Ringsdorf H. *Hermann Staudinger and the future of polymer research jubilees - Beloved occasions for cultural piety*. Angew. Chem. Int. Ed. 2004, 43, 1064.

Consecuencias de una mala gestión de los residuos plásticos.

<http://www.technofreakz.es>



## Polímeros: de macromoléculas a materiales

cielo seguro de la Química Orgánica, en el que ya era famoso (a él se deben las cetenas o la reacción de Staudinger), para luchar por el reconocimiento de las macromoléculas. A Staudinger, su propio reconocimiento le llegó en 1953 con la concesión del premio Nobel.

### CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS Y SU APLICACIÓN INICIAL COMO MATERIALES

La elevada masa molecular y la estructura repetitiva de los polímeros o macromoléculas es consecuencia de su origen sintético. De acuerdo a este origen los polímeros se pueden clasificar en tres categorías:

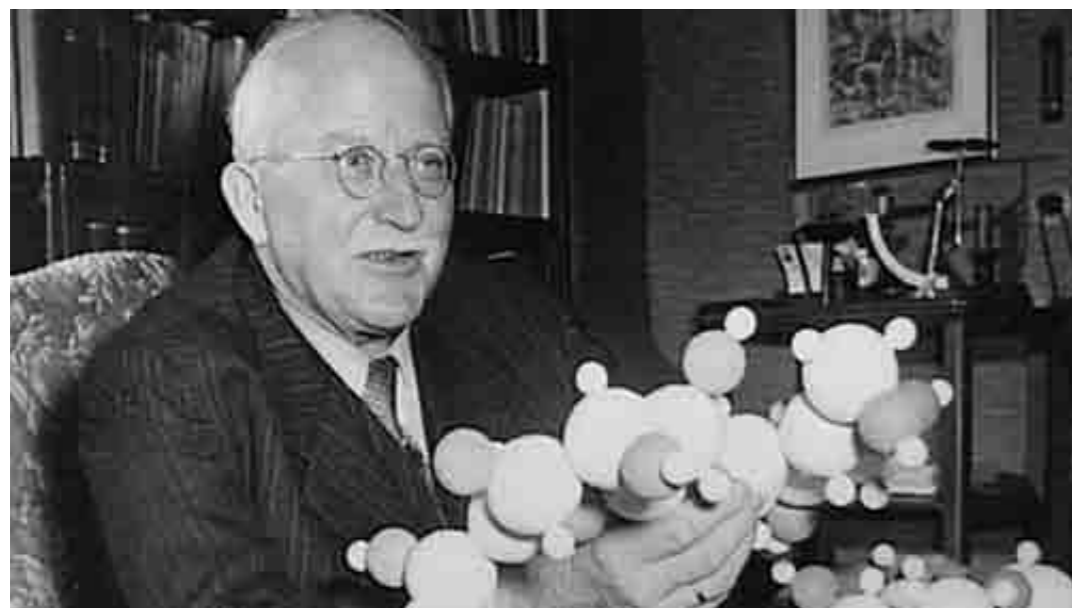
- *Polímeros naturales* sintetizados por seres vivos. Los ácidos nucleicos, las proteínas, polisacáridos u otras macromoléculas de origen celular están incluidos en esta categoría (también conocidos como biopolímeros o biomacromoléculas de origen natural, aunque se tienda a abusar del prefijo y a desvincularlo del origen del polímero). Son por tanto moléculas de gran interés para la Biología Molecular, pero también para la

Ciencia de Materiales. Pensemos en la celulosa o el caucho natural (un politerpeno) y los más recientemente comercializados poliésteres biodegradables, como los polihidroxicanoatos de origen bacteriano.

- *Polímeros semisintéticos* que proceden de la modificación química de un polímero natural, para obtener nuevos polímeros de propiedades diferentes. Es el caso del proceso de vulcanizado del caucho natural (el cis-1,4-poliisopreno) que desarrolló Goodyear y dio origen a toda la industria de los neumáticos. O también el nitrato de celulosa tan vinculado al cine, ¡la industria del celuloide!, y que quizás pocos relacionen en su origen con el billar y la necesidad de buscar un sustituto al marfil, ya en el siglo XIX. Es sabido que el celuloide hace tiempo que dejó de ser soporte cinematográfico por su carácter inflamable, como bien nos enseñó Tornatore en su entrañable Cinema Paradiso a los que acabábamos la licenciatura de Químicas allá por los finales de los 80. Sin embargo hay otros ésteres o éteres de celulosa de amplio uso en la actualidad.

**Hermann Staudinger (1881-1965).**

www.br.de



- *Polímeros sintéticos.* Son aquellos en los que la macromolécula es sintetizada mediante polimerizaciones desarrolladas por el ser humano, principalmente a partir de monómeros de origen petroquímico. La mayor parte de los polímeros de uso cotidiano pertenecen a esta categoría. El polietileno (sería más correcto decir los polietilenos), el polipropileno, el poli(cloruro de vinilo), el poli(terftalato de etileno), el poliestireno, etc. caen en esta clasificación, aunque es posible que sean más conocidos por sus acrónimos. ¿Quién no ha oído hablar del PET o el PVC?

De esta clasificación se deduce que el ser humano empleó los polímeros como materiales desde mucho antes de que se estableciera su naturaleza química. Y no nos estamos refiriendo al lógico y amplio uso de los biopolímeros, tanto de origen vegetal como animal, que el ser humano ha tenido siempre a su alrededor y ha utilizado en su beneficio, por ejemplo, en la industria textil o construcción. Nos referimos más bien al desarrollo de materiales con propiedades optimizadas a partir de procesos químicos, que coinciden con la expansión de la Química Orgánica, y que tienen un desarrollo industrial ya en el siglo XIX y principios del siglo XX. La industria de los neumáticos es un claro y fértil ejemplo, excepto para el propio Goodyear que nunca se benefició de su descubrimiento, más bien lo contrario. Incluso, el primer polímero enteramente sintético, las baquelitas, se comercializaron a principios del siglo XX, ¡mucho antes de la hipótesis macromolecular de Staudinger!

Sin embargo, la definición de macromolécula o polímeros y de reacción de polimerización brindó nuevas expectativas. A la industria química no le interesó demasiado la disputa científica que estableció Staudinger con sus colegas, pero en seguida vio las posibilidades que se abrían. Y en este punto, convendría rendir un homenaje a Wallace Carothers y a la compañía DuPont (o viceversa). Carothers, un joven doctor americano que trabajaba por entonces en la Universidad de Harvard, fue contratado por DuPont para liderar un programa de investigación ¡¡básica!! de síntesis de macromoléculas a partir de reacciones orgánicas conocidas. Todo estaba

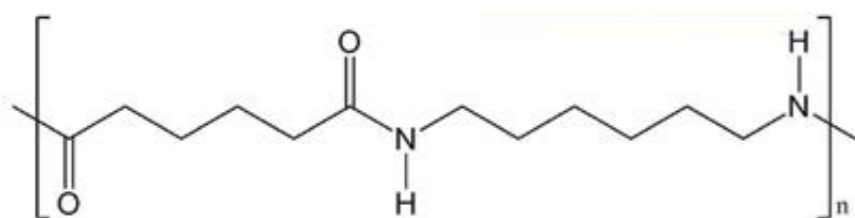


**Radio de baquelita.**

Fotografía por Robert Neild (wikipedia).

**“Las baquelitas se comercializaron a principios del siglo XX, ¡mucho antes de la hipótesis macromolecular de Staudinger!”**

# Polímeros: de macromoléculas a materiales



**Wallace Carothers y una de sus grandes aportaciones: el nylon 6.6.**

<http://es.wikipedia.org>  
(arriba izda.)

<http://mydailyminfield.com>  
(arriba dcha.)

Figura cedida por los autores (abajo).

por descubrir y para ello DuPont no dudó en proporcionar todos los medios y financiación necesaria. Carothers aceptó el reto en 1928 y apostó por la química de ésteres y amidas. Sus aportaciones a la Química Macromolecular, en el campo de polímeros de condensación, son múltiples, pero baste citar una: el nylon 6.6. Para los amantes de la rentabilidad económica de la investigación un dato: el 15 de mayo de 1940 se empezaron a comercializar las medias de nylon 6.6 y hasta finales de ese año se vendieron más de 5 millones de pares a 1.20 dólares cada una. Posteriormente los beneficios fueron astronómicos: todavía a finales del siglo pasado las ventas de nylon para DuPont suponían cada año miles de millones de dólares. Desgraciadamente, Carothers nos privó de su genialidad, de la que no era consciente, demasiado pronto y se suicidó (1937) antes de ver

el enorme fruto de su trabajo. Fruto no solo económico: el nylon, inmediatamente después de su lanzamiento, fue un material estratégico en la Segunda Guerra Mundial en la fabricación de cuerdas o paracaídas para el ejército americano, lo que permitió revalorizar el empleo de este polímero como material.

En el escenario anterior, la Segunda Guerra Mundial, se puede ubicar también el éxito de otros polímeros como materiales. Por ejemplo el poli(metacrilato de metilo) (PMMA) que fue utilizado con tanto éxito en la fabricación de ventanas para los aviones de combate. Hay que pensar que solo en 1943, EEUU produjo 86000 aviones de combate y que todos ellos usaban el Plexiglas de la compañía Rohm and Hass. Por cierto, el desarrollo de lentes intraoculares, debe mucho al uso de Plexiglas en aviones de

combate en dicha guerra. Fue la observación de que los pilotos accidentados con restos de este plástico en los ojos no sufrían rechazo, lo que llevó al oftalmólogo británico N.H.L. Ridley a desarrollar la primera lente intraocular de PMMA para reemplazar el cristalino, ¡otra aplicación de un plástico! Menos conocido es el uso de otros poli(metacrilatos de alquilo) derivados de alcoholes de cadena larga (en el PMMA, el grupo metilo solo tiene un átomo de carbono) y que habían sido inicialmente desechados por Rohm and Hass. Sin embargo, estos polímeros se disolvían bien en aceite de motor lo que proporciona una buena viscosidad a baja temperatura. Este uso, aparentemente poco significativo, jugó su papel una vez compartido con el ejército ruso en el desenlace de la batalla de Stalingrado, clave en el devenir de la guerra. Los tanques rusos con el aceite de

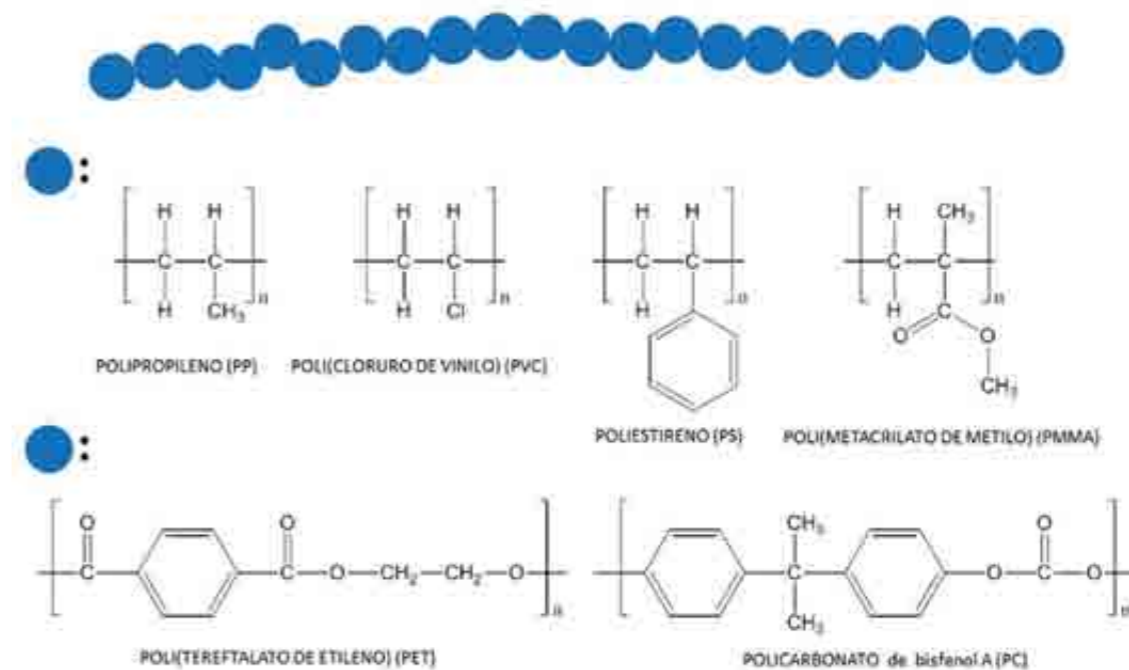
motor aditivado resistieron el frío extremo del invierno. Sin embargo, ni un solo tanque alemán de esta batalla regresó a Alemania.

## LA ESTRUCTURA DE LOS POLÍMEROS

Hasta el momento, hemos comentado qué son y cómo se clasifican los polímeros, así como un poco de su historia inicial. Veamos ahora cuál es la estructura química de los polímeros. La primera, y más evidente, es la estructura lineal. A este tipo de estructura pertenecen la mayor

**Representación esquemática de un polímero de estructura lineal y ejemplos de polímeros lineales termoplásticos.**

Figura cedida por los autores.





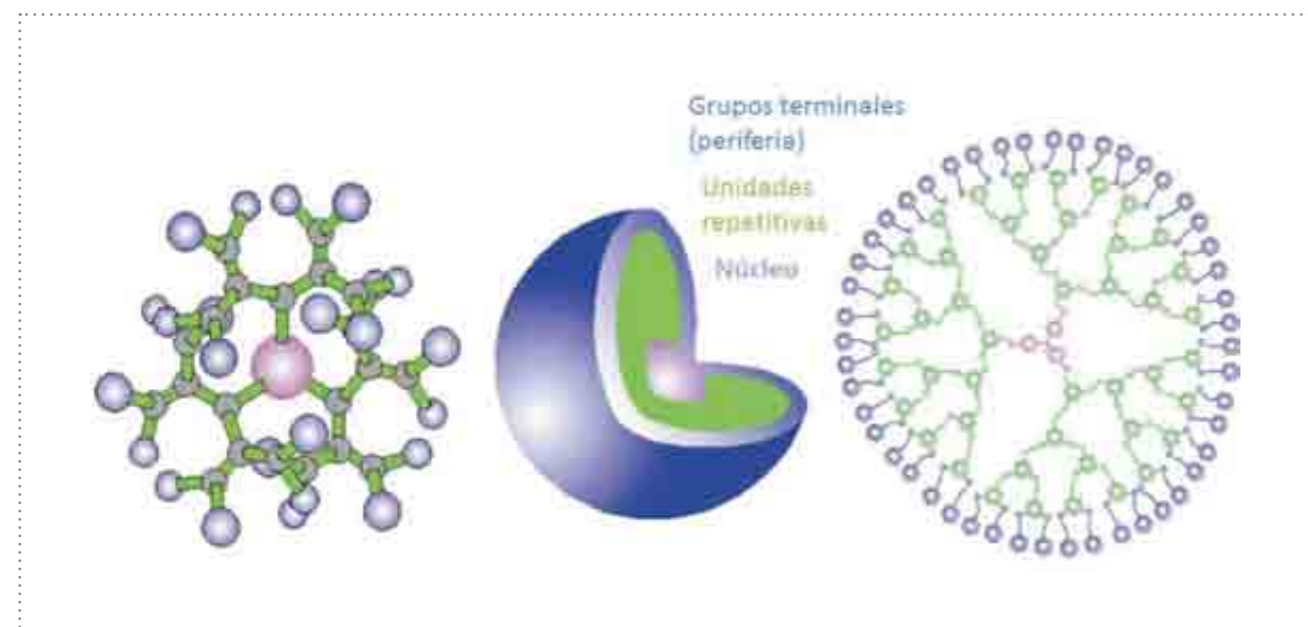
# Polímeros: de macromoléculas a materiales

parte de polímeros comerciales conocidos. En general (hay excepciones) este tipo de macromoléculas al ser calentadas pasan a un estado fluido en el que pueden ser conformadas y posteriormente enfriadas para obtener los diferentes objetos plásticos que utilizamos. En tal caso reciben el nombre de *termoplásticos*. Algo más compleja es la estructura entrecruzada: las macromoléculas están unidas unas con otras para formar una "red de macromoléculas". Dependiendo del grado de entrecruzamiento puede

**“Los polímeros que conocemos y utilizamos habitualmente se sintetizan por procedimientos sencillos y eficientes.”**

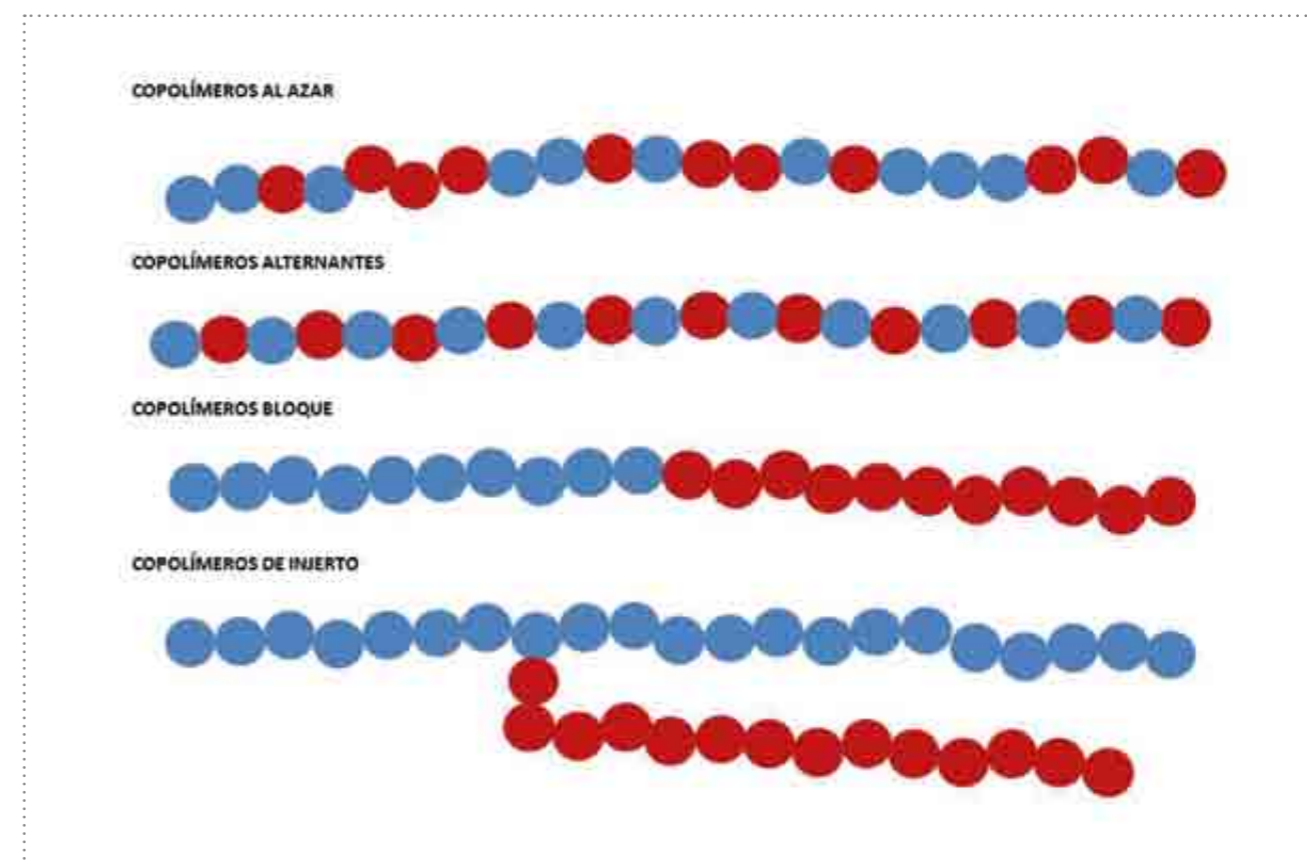
## Estructura esquemática y representación química de un dendrímico.

Figura adaptada de J. Polym. Sci. Polym. Chem. 2003.



mos tener redes con bajo grado de entrecruzamiento, como ocurre en polímeros muy flexibles entrecruzados parcialmente, lo que permite obtener un material capaz de deformarse frente a un estímulo mecánico pero recuperar su forma al cesar el estímulo. Es la estructura típica de la mayoría de los *elastómeros* como los cauchos sintéticos, por ejemplo el neopreno. En otros casos tenemos polímeros altamente entrecruzados que ni funden, ni se pueden disolver. Es la estructura más típica de los que se denominan *termoestables*, como las baquelitas o las resinas epoxi.

En los últimos años han surgido nuevas posibilidades estructurales y sin duda los que motivan mayor expectación son los polímeros dendríticos, aquellos en los que no hay una macromolécula lineal sino una altamente ramificada. Se asemeja al crecimiento de un árbol que va diversificando sus ramas a partir de un tronco. En el caso de crecer de forma regular a partir de un núcleo común, se obtiene una macromolécula monodispersa de estructura perfectamente definida, a la que denominamos dendrímico y que se caracterizan por tener un alto número



de grupos terminales. Los procesos sintéticos desarrollados para los dendrímicos son mucho más complejos y tediosos que los convencionales. Sin embargo, las expectativas despertadas son tales que ya hay varias empresas que los venden, así como usos comerciales en el campo de la Medicina.

Lo mencionado anteriormente hace referencia a polímeros que solo tienen una unidad repetitiva constitutiva. Pero en la preparación de los polímeros podemos emplear más de un monómero y por lo tanto tener varias unidades repetitivas (eslabones diferentes de la cadena). Son lo que se denominan copolímeros. El plástico del frontal de la lavadora o el lavavajillas de nuestra casa, o de la carcasa de nuestra televisión, es muy probablemente de ABS, un copolímero de Acrilonitrilo, Butadieno y estireno (*Styrene* en inglés). Según como

## Tipos básicos de copolímeros.

Figura cedida por los autores.

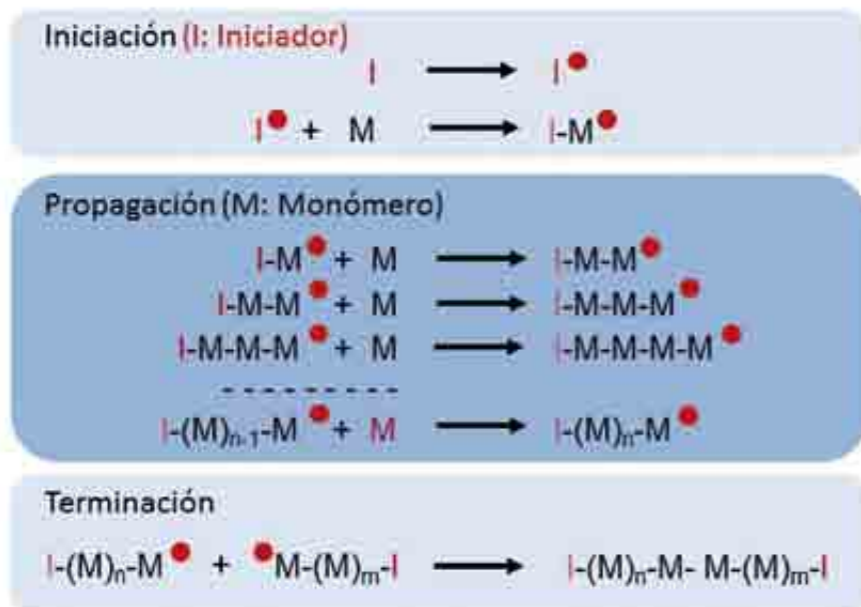
se distribuyen los "eslabones" en la cadena hay diferentes tipos de copolímeros, como se muestra en la figura para casos sencillos de dos eslabones.

## ALGO DE QUÍMICA MACROMOLECULAR

Los polímeros que conocemos y utilizamos habitualmente se sintetizan por procedimientos sencillos y eficientes. De acuerdo a la división realizada por Flory, los métodos de polimerización pueden clasificarse fundamentalmente en dos tipos: polimerización en cadena y polimerización por pasos.



## Polímeros: de macromoléculas a materiales



Representación esquemática del mecanismo de la polimerización en cadena vía radicales libres.

Figura cedida por los autores.

Las polimerizaciones en cadena, como su nombre indica, transcurren por un mecanismo en cadena que implica procesos de iniciación, propagación y terminación. Por esta vía se obtienen polímeros tan conocidos como las poliolefinas (polietileno o polipropileno, por ejemplo), los cauchos sintéticos diénicos, el poliestireno y derivados, el PVC o los poli(met)acrilatos entre otros. Todos estos ejemplos tienen en común que se parte de monómeros con dobles enlaces y la conversión de enlaces  $\pi$  en enlaces  $\sigma$ , proceso exotérmico que favorece la polimerización a pesar de la variación entrópica negativa del mismo (hasta una temperatura techo). La polimerización en cadena, vía radicales libres, es la más conocida. Este proceso requiere de una especie, a la que se denomina iniciador, que por efecto de la temperatura, la luz, una reacción redox, etc. da lugar a radicales libres que se adicionan al monómero, comenzando así el proceso de propagación y crecimiento de la cadena polimérica por adición su-

cesiva de monómero. Las macromoléculas que están en propagación tienen en su extremo un radical libre activo. La terminación se produce por reacción bimolecular de dos de estos macrorradicales y combinación de los mismos (aunque también es factible la desproporción) para dar lugar a macromoléculas o polímeros muertos, es decir no activos en el extremo, que es el producto final a comercializar.

El polietileno comenzó a producirse por este método antes de la Segunda Guerra Mundial como fruto de un programa de investigación ¡básica! en ICI para explorar reacciones químicas a alta presión. Un accidente como la entrada de una pequeña cantidad de oxígeno (que actuaría de iniciador) al reactor, fue el origen de lo que conocemos como LDPE, el polietileno de baja densidad. Sin embargo, la estructura lineal de este polímero está salpicada de ramificaciones no controladas que son debidas a un proceso de transferencia de hidrógeno in-

tramolecular (*backbiting*) que genera un radical secundario más estable y que puede seguir propagándose. No es factible evitar esta transferencia de cadena mediante una polimerización vía radicales libres de etileno. Tampoco es factible la polimerización de propileno por esta vía para obtener polipropileno de alta masa molecular. Un estudiante de química puede fácilmente prever la causa: la transferencia de cadena al monómero para obtener radicales alilo, más estables que el macrorradical en propagación. ¿Cómo se obtiene entonces el polipropileno tan extendido hoy en día?, ¿cómo

se obtiene un polietileno lineal? De nuevo un accidente y unas mentes privilegiadas dieron con la solución.

La contaminación de un equipo en el laboratorio de Karl Ziegler, especializado en catálisis, estuvo en el origen de la producción de polietileno de alto peso molecular en condiciones menos estrictas que el método de ICI, y con una estructura esencialmente lineal (el HDPE o polietileno de alta densidad). Fue la primera gran contribución de la Química Organometálica al campo de los polímeros. La polimerización en cadena por coordinación, y los catalizadores de Ziegler para la producción de etileno, fueron posteriormente aplicados por Giulio Natta a la polimerización de propileno, tras escuchar una conferencia de Ziegler en Alemania. Curiosamente, Giulio Natta pensaba que la presencia de

**“Hoy por hoy, el PP isotáctico y el HDPE son los polímeros de mayor producción y consumo.”**



Instalación de una tubería de Polietileno de alta densidad (HDPE).

Fotografía por Tomas Castelazo (wikipedia)  
<http://www.tomascastelazo.com>

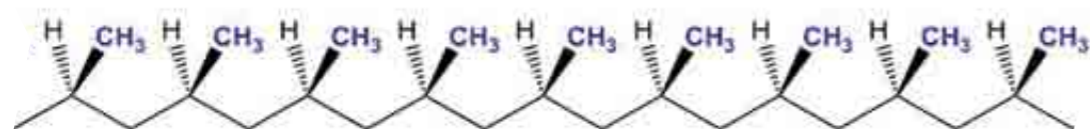


## Polímeros: de macromoléculas a materiales

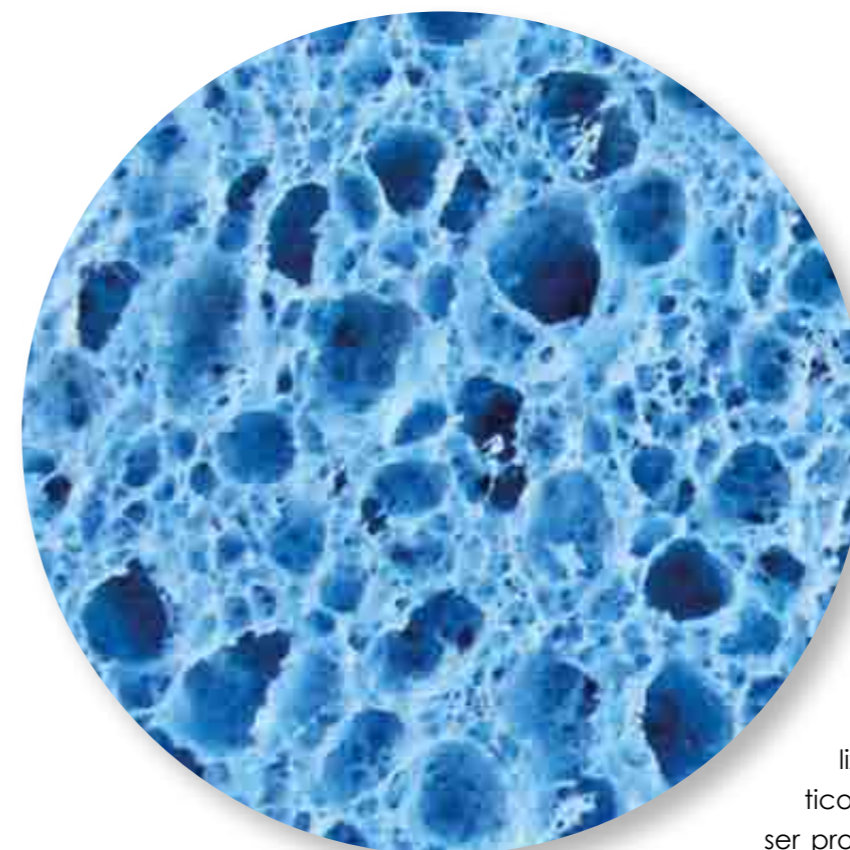
grupos metilo (-CH<sub>3</sub>) daría lugar a un polímero amorfo y flexible (una especie de caucho) a temperatura ambiente. Sin embargo se encontró con un polímero sólido y cristalino! El estudio por difracción de rayos X puso de manifiesto la estructura helicoidal de la macromolécula. La razón solo podía estar en el control de la estereoquímica. Es decir, los grupos metilo no podían estar dispuestos de cualquier manera en la macromolécula, sino que debían mantener alguna estereorregularidad. En efecto, el polipropileno obtenido es isotáctico: en una conformación todo-trans de la macromolécula,

### Ziegler, Natta y estructura del polipropileno isotáctico.

es.wikipedia.org (arriba) / Figura cedida por los autores (abajo).



los grupos metilo se disponen de igual manera. Surgía así la posibilidad de obtener polímero de estereoquímica controlada. No vamos a profundizar en estos aspectos apasionantes en la Química Macromolecular pero sí conviene remarcar la enorme transcendencia de estos descubrimientos que supusieron, de entrada, el premio Nobel compartido para Ziegler y Natta y, de paso, una intensa y fructífera actividad en el desarrollo de nuevos catalizadores. Hoy por hoy, el PP isotáctico y el HDPE son los polímeros de mayor producción y consumo. Además, con esta historia podemos apoyar algo que siempre enseñamos a nuestros estudiantes: la importancia del cuaderno de laboratorio y de su correcta cumplimentación. Por las fechas en que se desarrollaron los catalizadores de Ziegler, y se aplicaron por Natta a la polimerización de PP isotáctico, Banks y Hogan desarrollaron en



### España de poliuretano.

<http://recursoswebyseo.com>

el monómero, podemos obtener polímeros activados en su extremo (polímeros vivos), que pueden iniciar la polimerización de un segundo monómero. Así se obtuvieron los copolímeros bloque que fueron aplicados en la industria para comercializar los primeros elastómeros termoplásticos, materiales tipo caucho que pueden ser procesados con la misma tecnología que los termoplásticos. Hoy por hoy, los químicos orgánicos han desarrollado polimerizaciones radicalarias vivas con las que también es posible obtener copolímeros bloque. ¿Cuál es su interés? En una misma macromolécula estamos combinando dos (o más) macromoléculas de diferente naturaleza química, por lo que tenderán a segregarse. Dada la unión entre ambas, esta segregación se produce a escala nanoscópica, lo que se aprovecha para la preparación de nanomateriales de diversos tipos.

No nos olvidamos del otro tipo de mecanismo general: la polimerización por pasos. En esta categoría caen los poliésteres, las poliamidas, los poliuretanos, los poliéteres o los policarbonatos, por ejemplo. Realmente el mecanismo es simple: se trata de una reacción orgánica convencional (por ejemplo, una esterificación) que se repite muchas veces para ir engarzando unidades repetitivas entre sí. En este caso, suele ser frecuente la presencia de un subproducto de reacción que es necesario eliminar del medio. Esta eliminación (una simple aplicación del principio de Le Châtelier para desplazar el equilibrio) y un estricto control de la estequiometría son claves en el éxito de estas polimerizaciones que debemos a los trabajos iniciales de Carothers.

EEUU un catalizador de cromo para polimerizar etileno en Philips Petroleum Co. También lo aplicaron a propileno, pero obtuvieron un producto cristalino con bajo rendimiento que no fue explorado mucho más allá de su síntesis. Eso sí, anotaron en su cuaderno esta obtención de polipropileno cristalino. Posteriormente, hubo una larga y enconada disputa en los tribunales de EEUU por definir el inventor del PP isotáctico... esas notas en el cuaderno decantaron el veredicto (y muchos millones de dólares) hacia Philips Petroleum Co.

Hay un tipo más de polimerización en cadena: la iónica. En este caso, las especies propagadoras no son macromoléculas que "portan" en su extremo de cadena no un radical libre, sino una carga ya sea positiva (polimerización catiónica) o negativa (polimerización aniónica). Las polimerizaciones iónicas, y en particular la aniónica que es más utilizada, requieren de condiciones muy estrictas de polimerización: disolventes y monómeros de alta pureza, atmósfera inerte, baja temperatura... Pero tienen una ventaja: no se produce la reacción bimolecular de terminación como en el caso de los macrorradicales por lo que, una vez consumido

## Polímeros: de macromoléculas a materiales

Para finalizar este repaso a la Química Macromolecular, volvemos la vista de nuevo a la época en que Staudinger propuso su hipótesis macromolecular. Por aquel entonces Maurice Lemoigne, director del laboratorio de fermentación del Instituto Pasteur de París, describe la producción eficiente de una reserva de "lípidos" por diferentes tipos de bacterias. Su primer trabajo fue de 1923, y cuatro años más tarde publica el aislamiento de un sólido que describe como un polímero del ácido 3-hidroxibutírico. Estos trabajos fueron publicados en una revista francesa de poco impacto, en una época en la que los microbiólogos no mostraban mucho interés en los lípidos y en la que además los químicos orgánicos rechazaban que existieran los polímeros. Quizás por todo ello su trabajo fue postergado hasta los años 80,

cuando ICI lanza un nuevo poliéster termoplástico producido por técnicas de fermentación a gran escala, el Biopol. La Biotecnología y la Química Macromolecular se aliaban para la preparación de poliésteres biodegradables: los polihidroxialcanoatos. Los mismos que ya describió Lemoigne. Hoy por hoy, y por procedimientos sintéticos diversos, son varios los polímeros de este tipo que podemos encontrar en el mercado,

y que suponen una alternativa a los polímeros de origen petroquímico. Por ejemplo, las suturas que utilizan los cirujanos en los hospitales suelen ser de este tipo de polímeros. Se empezó a vislumbrar que existe una alternativa, basada en fuentes renovables, a los polímeros convencionales. En realidad, esta alternativa siempre ha estado presente, por ejemplo en los polímeros de origen vegetal, y de hecho la investigación en nuevos polímeros a partir de monómeros de biorrefinería es una de las más activas en estos momentos en Química Macromolecular.

**“Los polímeros aportan soluciones en todos los campos tecnológicos y complementan a las aportadas por otros materiales.”**

### Y QUÉ MÁS PODEMOS HACER CON LOS PLÁSTICOS

En este pequeño resumen que hemos hecho de los principios químicos de los polímeros, y algo de su historia inicial, se han ido mencionando polímeros conocidos por todos nosotros y que somos capaces de relacionar con objetos cotidianos. Sin embargo, hay aplicaciones de estos materiales que nos pueden resultar más sorprendentes. Con polímeros se pueden preparar fibras de elevada resistencia competitivas con materiales no orgánicos. Es el caso del Kevlar, cuya bonita historia daría para otro artículo en homenaje a esa gran química que fue Stephanie Kwolek. Ya conocemos usos de esta poliamida aromática en la industria militar o de

protección balística en cuerpos de seguridad, pero también encontramos esta fibra en materiales compuestos con los que se hacen numerosos artículos deportivos. El Nomex, un polímero análogo (isómero) al Kevlar, se utiliza en la fabricación de tejidos resistentes al fuego de uso por bomberos o pilotos de Fórmula 1, en los que un traje ligero que les permita resistir a temperaturas de centenares de grados durante un cierto tiempo es la diferen-

cia entre la vida y la muerte. Y si hablamos de Fórmula 1, en los habitáculos de seguridad de los monoplasas podemos encontrar el Zylon, un polímero capaz de soportar temperaturas de hasta 650°C, además de tener una gran resistencia y, por supuesto, baja densidad, propiedad crítica en este deporte.

Se han descrito polímeros semiconductores que pueden sustituir a los inorgánicos en determinadas aplicaciones optoelectrónicas. O incluso polímeros capaces de emitir luz al ser

excitados con una corriente eléctrica, de igual manera a como lo hace un LED convencional. Con este tipo de polímeros se han hecho pantallas flexibles y con espesor tan ridículo que el adjetivo plana, para una pantalla, empieza por fin a cobrar significado. Si nos vamos al campo de la Medicina, son muchas las aplicaciones que podemos encontrar desde las ya mencionadas suturas biodegradables a hidrogeles en el campo oftalmológico (¡recuerden a Ridley y el uso del PMMA como lente intraocular!) o bien polímeros aplicados en prótesis articulares. Esto es ya es de uso común. Sin embargo, la investigación en sustratos activos para ingeniería de tejidos, o en la preparación de fármacos inteligentes basados en polímeros, es muy activa y promete avances en los próximos años. De hecho, salvo el cerebro, es difícil encontrar un órgano o tejido para el que no se haya propuesto, o sea ya una realidad, un polímero para contribuir a su reparación o sustitución.

En definitiva, los polímeros aportan soluciones en todos los campos tecnológicos y complementan a las aportadas por otros materiales. Y los problemas medioambientales que se les adjudican (el que contamina no es el plástico, es el ser humano) pueden y deben ser paliados con una educación en el uso racional y en la adecuada gestión y reciclado de estos materiales.

Milagros Piñol y Luis Oriol

Dpto. de Química Orgánica  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

