

# 100 años de Ciencia de Polímeros en el mundo, 73 años en nuestro país

## Avances en la academia y en la industria

Carmen Mijangos

**Resumen:** Este trabajo pretende recordar el origen de la ciencia de los polímeros en el mundo, hace 100 años, gracias a Hermann Staudinger, y la aparición de la misma en España, en 1947. Igualmente, pretende aportar una serie de datos y dar una visión panorámica sobre el origen y la situación de la ciencia de los polímeros en nuestro país y su repercusión en el ámbito internacional. Esta breve contribución es una más de los muchos artículos, actos y congresos internacionales que se están llevando a cabo a lo largo del año 2020 para conmemorar el primer centenario de la aparición de la Ciencia de Polímeros.

**Palabras clave:** macromoléculas, polímeros, origen, evolución, retos.

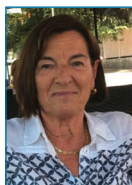
**Abstract:** This work aims to remember the origin of polymer science in the world, 100 years ago, thanks to Hermann Staudinger, and its emergence in Spain, in 1947. Likewise, it aims to provide a series of data and give a panoramic view on the origin of polymer science in our country and its repercussion in the international arena. This brief contribution is one of the many contributions in the form of articles, events and international conferences that will take place throughout the year 2020 to commemorate the first century of the Polymer Science.

**Keywords:** macromolecules, polymers, origin, evolution, challenges.

### INTRODUCCIÓN. INICIO DE LA CIENCIA DE POLÍMEROS, 1920

Existe un claro consenso en la comunidad científica en considerar el año 1920 como el nacimiento de la Ciencia de Polímeros. Esta fecha corresponde a la aparición de la primera y revolucionaria publicación de Hermann Staudinger sobre química macromolecular.<sup>[1]</sup> Para conmemorar dicho nacimiento, a lo largo del año 2020 se han programado una serie de publicaciones promovidas entre otros por la prestigiosa revista *Progress in Polymer Science-Elsevier*,<sup>[2,3]</sup> actos y congresos dedicados a la celebración del primer centenario,<sup>[4-7]</sup> aunque muchos de ellos han sido cancelados o pospuestos por los efectos de la COVID19. El presente artículo promovido por la Revista *Anales de Química* de la RSEQ debe de enmarcarse como una contribución más.

En el año 1920, Hermann Staudinger inició una serie de publicaciones, no sin cierta polémica, en las que se acuñó el término macromolécula y sentó las bases de la polimerización (Über Polymerisation) que se consideran como el punto de partida de la ciencia de los polímeros.<sup>[1,8]</sup> La existencia de la cadena macromolecular unida por enlaces covalentes fue puesta en duda por los químicos orgánicos y H. Staudinger tuvo que luchar para convencer a sus colegas de que el concepto era real. Los primeros trabajos publicados se refieren al caucho, formado por largas cadenas de unidades de isopropeno. Más tarde propuso las fórmulas estructurales del poliestireno y del polioximetileno, tal como las conocemos actualmente, como cadenas moleculares gigantes formadas por la asociación de ciertos grupos atómicos llamados “unidades estructurales” mediante enlaces covalentes. Este concepto solo se convirtió en el “fundamento” de la química macromolecular a partir de 1928 cuando, al estudiar la celulosa, Kurt Meyer y Hermann Francis Mark observaron la estructura cristalina de los polímeros mediante técnicas de difracción de rayos X. En 1935, Staudinger comenzó la investigación sobre las disoluciones de polímeros, con lo que pudo aportar nuevos hallazgos sobre la relación que vincula la viscosidad y el peso molecular y, a partir de ahí, se puede decir que comienza la ciencia de los polímeros. No fue hasta el año 1953 cuando se le reconocen sus méritos y se le concede el premio Nobel en Química *por sus descubrimientos en el campo de la*



C. Mijangos Ugarte

Vicepresidenta del Grupo de Polímeros (GEP-RSQ)  
Profesora de Investigación *ad Honorem*  
Directora del ICTP-CSIC 1996-2001  
Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC  
Juan de la Cierva, 3. Madrid  
C-e: [cmijangos@ictp.csic.es](mailto:cmijangos@ictp.csic.es)

Recibido: 08/10/2020. Aceptado: 19/11/2020.

*química macromolecular*. En esa época se descubrieron los principales mecanismos y métodos de polimerización y se inicia el estudio de la estructura y comportamiento de los polímeros en disolución y el de las transiciones térmicas, el comportamiento viscoelástico, etc.

En Europa, se crearon los primeros laboratorios de investigación de polímeros: Institut für Makromolekulare Chemie de Friburgo, Alemania (1940), fundado por el propio Staudinger; Institute of Macromolecular Chemistry de Praga, República Checa (a principios de los años 1940), en el que se inventaron las lentes de contacto y el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) creó el Centre d'Étude de Physique Macromoléculaire en Estrasburgo, Francia, en 1947 (hoy en día Institute de Macromolecules Charles Sadron). En América, el primer laboratorio de investigación fue el Polymer Research Institute establecido en 1941 por Herman Mark en el Instituto Politécnico de Brooklyn (hoy en día Instituto Politécnico de la Universidad de Nueva York) aunque fue en los laboratorios industriales donde se desarrolló buena parte de la investigación en polímeros.

A nivel científico, desde la aceptación del término macromolécula hasta el desarrollo de sus aplicaciones, los avances científicos en el campo de los polímeros fueron muy rápidos y las contribuciones científicas tan relevantes que han sido merecedoras, hasta la fecha, de otros 4 premios Nobel, en Química y Física, a: Karl Ziegler y Giulio Natta en 1963, por su contribución al estudio de catalizadores para la polimerización estereoselectiva de polialquenos terminales (Catalizadores Ziegler-Natta); Paul Flory en 1974, por sus logros teóricos y experimentales fundamentales en la química física de las macromoléculas; Pierre-Gilles de Gennes en 1991, por el descubrimiento y desarrollo de métodos avanzados para estudiar los fenómenos simples de los materiales, en particular, cristales líquidos y polímeros; Alan Heeger, Alan Mac Diarmid and Hideki Shirakawa, en 2000, por su contribución al conocimiento y desarrollo de la ciencia de los polímeros inorgánicos conductores. Otros premios Nobel también están muy relacionados con polímeros.<sup>[9]</sup>

Desde sus comienzos, la actividad investigadora en polímeros/macromoléculas, a nivel mundial, ha sido extraordinaria y enseguida dio lugar a la edición de revistas especializadas. La aparición de la primera revista, *Macromolecular Chemistry and Physics*, data de 1943, con Hermann Staudinger como editor. Le siguió *Journal of Polymer Science* lanzada en 1946 por P. M. Doty, Herman Mark, y C. C. Price. En el año 1952 aparece la primera publicación de la IUPAC, elaborada por la Subcomisión de Nomenclatura de la entonces Comisión de Macromoléculas. La primera revista de polímeros de habla hispana, *Revista de Plásticos Modernos*, data de 1950 (FOCITEC-CSIC).

Uno de los principales indicadores de la importancia que han adquirido es el alto número y la calidad de las revistas especializadas en polímeros: más de 150 revistas especializadas. Es importante resaltar la revista *Progress in Polymer Science* con IF: 25, 8 (aunque existe la revista *Progress in Material Science* (IF: 30), no existen revistas específicas para el resto de materiales, cerámicos o metales).

Las primeras sociedades de polímeros surgen en los años cuarenta del siglo pasado. The Society of Plastics Engineers (SPE) se creó en 1942. En el año 1967 se crea la división de polímeros dentro de la IUPAC. La European Polymer Federation (EPF) fue creada en 1986 por las sociedades nacionales de polímeros. La Federación de Sociedades Asiáticas de Polímeros no se crea hasta 2007.

Los primeros Congresos de polímeros datan de mediados del siglo pasado y fueron promovidos por las sociedades de polímeros. El primer Congreso de la IUPAC/MACRO tuvo lugar en el año 1957 (Praga) y, desde entonces, anualmente, se promueven docenas de Congresos de polímeros en el mundo. Cabe destacar que el XIII International Symposium on Macromolecules (IUPAC) tuvo lugar en Madrid en 1974, organizado por el Instituto de Plásticos y Caucho (ICTP) y contó con la asistencia, entre otros, del Premio Nobel Paul Flory y de más de 700 participantes. El 13<sup>th</sup> EPF Congress se celebró por primera vez en España (Granada) en el año 2011, promovido por el GEP-RSQ, reuniendo a más de 1.300 investigadores.

Los programas de enseñanza e investigación en química de polímeros se crearon en la década de 1940 en distintas universidades europeas.

## Tecnología

La importancia de los polímeros sintéticos en la industria (el término polímero fue acuñado por J. J. Berzelius en 1833) comienza mucho antes que el establecimiento científico de las bases de la ciencia de polímeros. El primer plástico completamente sintético, la baquelita, fue sintetizado por el químico belga, nacionalizado estadounidense, H. Leo Baekeland en 1909, a partir del fenol y el formaldehído. El policloruro de vinilo (PVC) se produjo a partir de 1912 (fecha de la patente de los alemanes Klattte y Zacharias) y el polimetacrilato de metilo (PMMA) a partir de 1928. En esa época empieza, sobre todo en Alemania, la producción masiva del poliestireno (PS). En Estados Unidos, el papel más destacado lo tuvo Wallace E. Carothers (Du Pont de Nemours), cuyas investigaciones condujeron a la producción industrial del Nylon (poliamidas) en 1938. El polietileno, inventado en Inglaterra, empezó a producirse comercialmente en 1939, las resinas epoxi en 1943 y los policarbonatos en 1956. En los años setenta surgen los polímeros de alto módulo, como las fibras de Kevlar, muy conocidas en la industria aeroespacial. El Teflón (politetrafluoretileno), sintetizado por primera vez por Roy Plunkett, y el neopreno (caucho sintético), etc., son solo otros ejemplos de los polímeros más conocidos a nivel social. A partir de aquí se puede decir que comienza el gran desarrollo tecnológico de los polímeros si bien el primer desarrollo de los mismos se produjo en la Segunda Guerra Mundial.

Para profundizar en el tema, se invita a los lectores a leer algunas publicaciones específicas, *Polymer pioneers, a popular history of science and technology of large molecules*, solo por citar una.<sup>[10]</sup>

## EVOLUCIÓN DE LOS POLÍMEROS EN EL MUNDO

No cabe duda de que los polímeros, a lo largo de este siglo de historia, han sufrido una importante evolución en todos los conceptos, desde la propia síntesis y comprensión de su comportamiento, hasta alcanzar altas cotas de conocimiento y desarrollo tecnológico que han cambiado profundamente la vida de la sociedad. Hoy en día, la ciencia de polímeros es un área de gran crecimiento donde surgen no solo nuevos descubrimientos en la síntesis, mecanismos de polimerización, estructura polimérica, etc sino también desarrollos claves en áreas emergentes entre las que se pueden citar el almacenamiento y conversión de energía, nuevas terapias o la economía circular. Hoy en día los polímeros se han hecho indispensables en nuestra sociedad en campos tan diversos como la salud, el transporte, la construcción, el deporte, el textil, la agricultura, electricidad y electrónica, la energía, la impresión 3D y la nanotecnología (si hay un material que cumpla con las exigencias de la nanotecnología son los polímeros, por su fácil procesabilidad y la variedad de funciones químicas disponibles).

Todos estos desarrollos han permitido a los polímeros ocupar un puesto importante dentro los materiales y hacen que el mundo sin plásticos parezca inimaginable. Los siguientes datos avalan el crecimiento de los polímeros:<sup>[11]</sup>

Fabricación mundial
1.5 MTn en 1950 (MTn: millones de toneladas)
250 MTn en 2010
380 M Tn en 2015
Período 1950-2015: 8.500 MTn (incluye 7% de aditivos)
En los últimos 13 años: 3.900 MTn
Previsión crecimiento: 8.4%/año

Hoy día, la variedad de polímeros existentes en el mercado es muy alta (varios miles), aunque su número es difícil de precisar. Su consumo es de alrededor de 100 kg/habitante/año. A nivel industrial, en Estados Unidos, la industria del Plástico ocupa el cuarto lugar de la industria manufacturera y emplea a más de 1,1 millones de personas. En Europa hay 60.000 empresas relacionadas con polímeros, la mayoría pymes (incluye maquinaria especializada) y 1,5 millones de trabajadores. A nivel mundial, el que haya un mercado tan importante se pone de manifiesto por el gran número de ferias específicas, como la Feria "K" de Dusseldorf (Alemania), dedicada a los plásticos y caucho, de carácter trienal. En el año 2016 contó con 232.000 visitantes profesionales (ese mismo año, en el Mobile World Congress en Barcelona, el número de visitantes fue de 101.000).

Muchos consideran que el siglo xx es el siglo de los polímeros y que, muy posiblemente, en el libro de la Historia de la humanidad se hablará de la era de los Plásticos, lo mismo que se habla de la edad de la Piedra, edad del Hierro y edad del Bronce.

## INICIO DE LA CIENCIA DE POLÍMEROS EN ESPAÑA, 1947

En España la ciencia de los polímeros comenzó bastantes años más tarde. Aunque no hay un referente claro de cuándo y dónde surgen los primeros laboratorios de polímeros, existe una serie de documentos que acreditan que el inicio se remonta al año 1947, cuando se creó el primer departamento dedicado al estudio de los plásticos, dentro del Instituto de Química Orgánica Alonso Barba del CSIC, en Madrid.<sup>[12-14]</sup> Este hecho ha sido posteriormente confirmado en documentos de otros autores.<sup>[15,16]</sup> Los pioneros fueron: Juan Luis Infesta, creador y director de la Sección de Plásticos hasta 1966 (actualmente Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, ICTP) y Presidente de RSFQ (1958-62); José Fontán, posterior director del Departamento (1966-87); José González; Marco A. Achón; Gonzalo Martín-Guzmán y Luis Royo. Los temas de investigación que se acometieron estuvieron en consonancia con la situación de aislamiento del país y con la carencia y necesidad de materiales de todo tipo tratando de conducir al aprovechamiento y potenciación al límite de las materias primas nacionales.<sup>[12]</sup> Además de una intensa actividad científica y tecnológica estos investigadores desarrollaron también un amplio programa formativo y divulgativo. El curso de alta especialización en Plásticos y Caucho se empezó a impartir en el año 1959 siendo reconocido por el Ministerio de Educación (en la actualidad se sigue impartiendo con el nombre de Máster Universitario de Alta Especialización en Plásticos y Caucho, CSIC-UIIMP). La revista de *Plásticos Modernos* empezó a editarse en 1950 y, al mismo tiempo, se comienza a poner a punto y a elaborar las Normas sobre Plásticos y Caucho. La Figura 1, que recoge la visita del premio Nobel a la Sección de Plásticos en 1955, testimonia el apoyo a los primeros investigadores de polímeros en España.



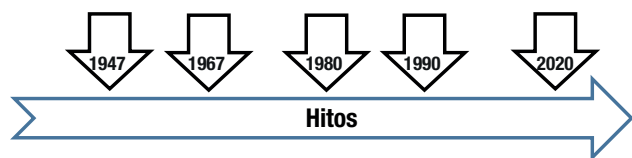
Figura 1. Visita del premio Nobel Hermann Staudinger a la Sección de Plásticos (CSIC) en 1955<sup>[13]</sup>

Poco tiempo después otra serie de investigadores, entre los que se encuentra Antonio Roig Muntaner, por citar solo al primero, en 1953 se incorporan al Instituto de Química-Física Rocasolano del CSIC, para posteriormente integrarse en departamentos de Química-Física o de Ingeniería de otras Universidades (UCM; UPC y IEM-CSIC). En esos años surge la necesidad de caracterizar y entender los polímeros/macromoléculas y se crean los primeros laboratorios de investigación sobre la Química Física de las macromoléculas de la Universidad Complutense de Madrid, Universidad Politécnica de Barcelona y los departamentos de Química-Física del Instituto Rocasolano (CSIC) y de la Universidad del País Vasco.

Si hubiera que citar un solo investigador pionero sería el profesor Martín Guzmán (GMG) quien después de una fructífera estancia en Universidad de Birmingham (Reino Unido), desarrolló una labor formativa e investigadora relevante en el Departamento de Plásticos y Caucho del CSIC (actualmente ICTP-CSIC) hasta el año 1967. A partir de entonces comienza su movilidad hacia distintos puntos de la geografía nacional, dando lugar a la expansión de la ciencia de polímeros en España, primero en Tarrasa, Barcelona y por último en San Sebastián, donde en 1973 dentro de la Facultad de Petroquímica (actualmente Facultad de Química) crea el departamento de Ciencia y Tecnología de Polímeros, germen del Centro POLYMAT (UPV/EHU). Véase Figura 2.

A nivel nacional, si bien la ciencia de polímeros, y la ciencia en general, empezó en España con unos años de retraso respecto a la de otros países europeos, desde que aparecen los primeros científicos pioneros en el campo de los polímeros y los primeros movimientos de los investigadores en los años 60, a lo largo de esta corta historia se han creado numerosos grupos de investigación en prácticamente todas las facultades y escuelas de ingeniería, repartidos por toda la geografía española y dedicados exclusivamente a la ciencia de los polímeros.

En el gráfico de abajo se recogen los períodos que han supuesto cambios importantes en la ciencia de polímeros en España.



- 1947-1967: Inicio de la investigación básica y aplicada de polímeros (Madrid).
- 1967-1980: Inicio de la expansión de polímeros en España.
- 1980-1990: Gran expansión de polímeros en España.
- 1990-2020: Consolidación de la ciencia de polímeros.

## EXPANSIÓN POLÍMEROS AÑOS 1968-1980

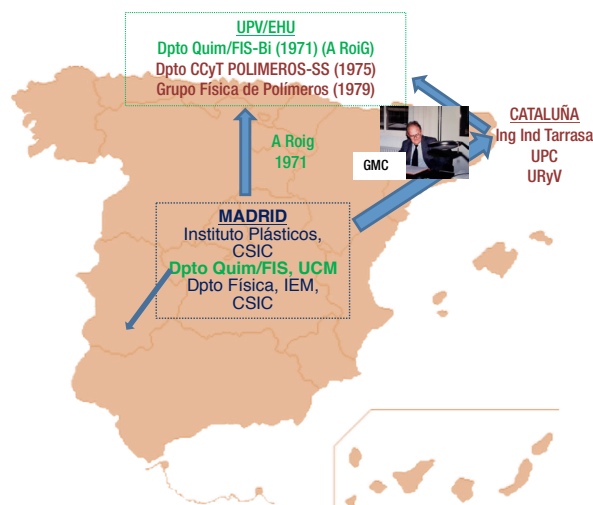


Figura 2. Período 1967-1980: Inicio de la expansión de la ciencia de polímeros en España

Hasta prácticamente finales de 1960, la ciencia y tecnología de polímeros se cultivó en el ICTP. En la primera etapa 1947-1952 la investigación fue de carácter sintético, muy aplicada y terminaba en transferencia industrial. Por ejemplo, el trabajo sobre *Resinas intercambiadoras de iones* abarcó desde el estudio básico hasta el desarrollo en planta piloto y la transferencia a la Empresa Nacional Calvo Sotelo. El estudio de *Polímeros redox* y *Resinas acrílicas* llegó también hasta el desarrollo industrial, a la creación de una empresa y al montaje de una planta industrial. Igualmente, los proyectos sobre el *Poliacetato de vinilo (emulsión)*, abarcaron hasta el desarrollo en planta piloto y la transferencia a la Empresa MAPLEX-VALENCIA. Los estudios sobre la *Policondensación (Poliésteres de origen natural)* terminaron en planta piloto y en una fábrica de FIBRAS de PA y Poliéster y los de *Modificación de la Celulosa, membranas de celulosa* y *Vulcanización del caucho*, se desarrollaron en colaboración con el sector industrial. Unos años más tarde, 1953-1967, los temas de investigación se amplían considerablemente y se abordan desde el punto de vista físico o químico-físico: Cristalización del PE, configuraciones/conformaciones moleculares, disolución de altos polímeros, degradación del PVC, cinéticas de polimerización, fraccionamiento de polímeros. Además de los de análisis de plásticos comerciales y plastificantes, estabilización térmica y la transformación de plásticos (inyección y extrusión).

A partir de finales de los años 60, la investigación en polímeros se abre a otros laboratorios: CSIC, UCM; Universidad politécnica de Cataluña (UPC), Universidad del País Vasco (UPV/EHU); Universidad de Valencia (UV). La Investigación estaba financiada por las instituciones y/o por empresas, las temáticas son más abiertas y en consonancia con otros laboratorios internacionales. El

siguiente listado agrupa los temas generales de investigación:

- Polímeros sintéticos, comerciales y alto valor añadido: acrílicos, PVC, PAC, poliolefinas, poliésteres y poliamidas y polímeros naturales.
- Mecanismos de polimerización: polimerización radical, polimerización aniónica y de condensación.
- Procesos de polimerización: emulsión y reactores.
- Relación estructura / propiedades: Estabilidad química y fotoquímica, cristalización del PE, transiciones vítreas, modelización, reología, y dinámica molecular.
- Propiedades en disolución:
  - Tamaño de macromoléculas, conformación de macromoléculas.
  - Caracterización de polímeros.
- Procesos de transformación.
- Caucho /elastómeros.
- Plásticos en la agricultura.

### Tecnología

Al igual que en el resto del mundo, en nuestro país la importancia de los polímeros sintéticos en la industria comienza varios años antes que en los laboratorios académicos, cuando se instalaron las primeras fábricas de plásticos y caucho. En 1925 se crea la Societat Anònima La Seda de Barcelona, para la fabricación de fibras artificiales, especialmente el nylon (rayon); en el País Vasco se implantan una serie de fábricas de plásticos y caucho de las principales multinacionales: Firestone (1932), Michelin (1934), Unquinesa (más tarde denominada Dow-Unquinesa y posteriormente Dow) (1939); Solvay (1949), Compañía Española de Plásticos (CEPLÁSTICA, 1950), REPOSA (1955), FORMICA (1964), para la fabricación de caucho, resinas vinílicas, fenólicas, estireno y otras. Desde entonces se han creado numerosas industrias de producción y transformación de plásticos y se han instalado numerosas multinacionales, llegando a concentrar casi el 50% de la industria química de nuestro país.

En esos años se crearon las primeras asociaciones de la industria del Plástico: Centro Español de Plásticos (CEP) en 1953, en Barcelona; Consorcio Nacional de Industriales del Caucho (COFACO) en 1948 y Asociación Española de Industrias del Plástico (ANAIP) en 1957, en Madrid. Recientemente (2009), se ha creado la Federación Española de Industriales de la Transformación de Caucho y Plásticos (FEITCAP), integrada por las dos asociaciones anteriores.

### EVOLUCIÓN DE LOS POLÍMEROS EN ESPAÑA

Si los primeros científicos tuvieron que salir y especializarse fuera (hoy lo siguen haciendo), en la actualidad

la mayoría de los laboratorios de polímeros de nuestro país están integrados en la comunidad internacional y cuentan con un notable porcentaje de investigadores de otros países de Europa y de Latinoamérica, principalmente. Hasta prácticamente los años 80, la investigación estaba financiada por las instituciones y/o por empresas, estaba muy compartimentada y se trabajaba prácticamente en exclusividad en un tema o en un determinado polímero, como sucedía con el resto de la investigación del país.

A partir de 1980-1990 tiene lugar la gran expansión de los polímeros y la creación de nuevos grupos de investigación. Se cubren muchas disciplinas y los grupos están distribuidos en toda la geografía, con dos focos importantes en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) y la Comunidad Autónoma de Madrid (CAM). Durante este tiempo se consolidan y crecen muchos grupos de los ya existentes y emergen potentes grupos nuevos.

En el año 1985 se produce un hito importante: la Creación del Programa Nacional de Materiales y la integración de los polímeros dentro de esa comunidad. Los Proyectos son competitivos, los grupos de investigación empiezan a ser más numerosos y los polímeros tienen una tasa de éxito alta. Todavía los proyectos no estaban focalizados. Responden a títulos similares a “Desarrollo de estructuras poliméricas para la obtención de materiales avanzados. Relación estructura, propiedades en conexión con la mejora de prestaciones”. En los años 90 se produce otro hito importante, la irrupción de los Programas Marco de la EU, III, IV, V, VI donde los laboratorios, centros tecnológicos y empresas españolas de polímeros empiezan a participar activamente y a tener retornos muy importantes. Por ejemplo, en los proyectos Network of Excellence (NoEs) (2004-2008) España participa en más de la mitad de las redes de Excelencia financiadas<sup>[6-11]</sup> con una financiación de alrededor de 6 millones de euros por proyecto. En la actualidad, los polímeros en España participan en el programa H2020 en el área NMBP con excelentes resultados: España es el segundo país en el Programa NMBP consiguiendo un 14,4% del presupuesto.<sup>[17]</sup>

Se puede decir que gracias a la aparición de muchos grupos de investigación, la ciencia de polímeros a nivel nacional cubre prácticamente todo el espectro de la ciencia y tecnología de polímeros. En breve se podrá tener una visión de las principales líneas de investigación que se cultivan en nuestro país, en un número especial de la revista *Polymers*. En ella, se recogerá el estado del arte de la Ciencia y Tecnología de Polímeros en España con aportaciones científicas de destacados investigadores.<sup>[18]</sup>

El recuadro de la Figura 3 recoge la denominación de los grupos de investigación de más de 10 investigadores y su ubicación geográfica. Da una idea de la variedad de temas que se cultivan y de su integración en prácticamente todas las comunidades autónomas.<sup>[14]</sup>

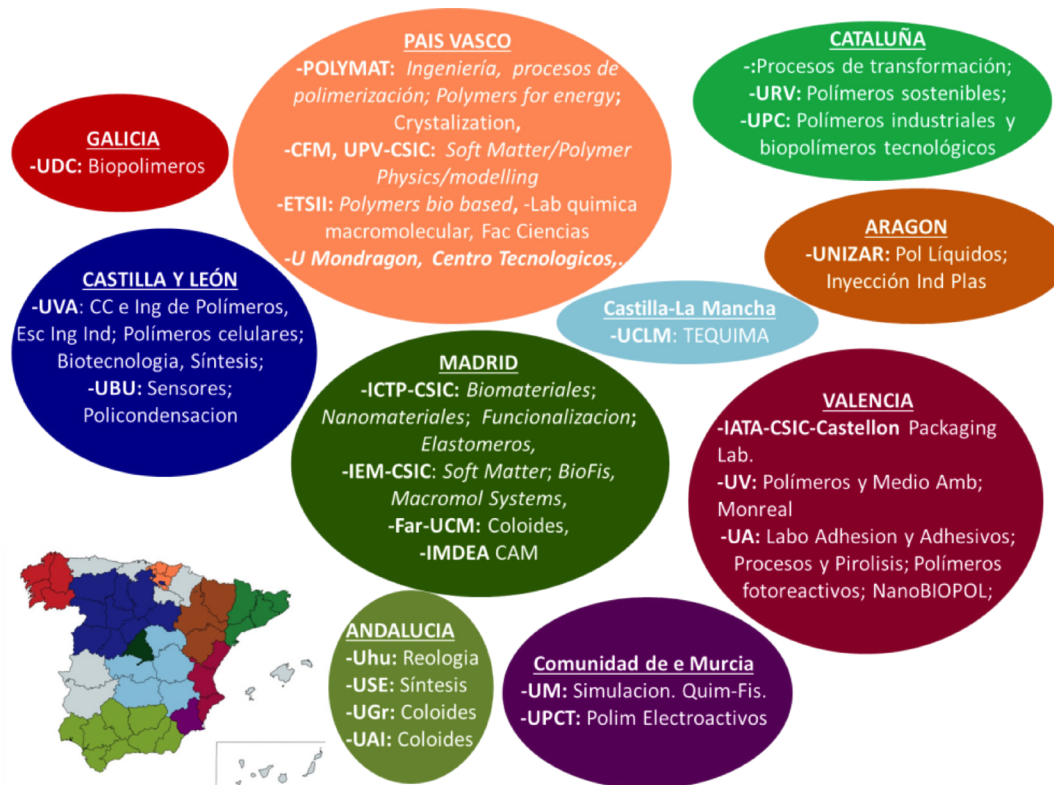


Figura 3. Grupos de investigación de tamaño medio/grande distribuidos a lo largo de la geografía nacional y su denominación o principal área de investigación<sup>[14]</sup>

La comunidad científica de polímeros está compuesta por numerosos grupos reconocidos por una temática/actividad específica, repartidos por toda la geografía. Hay más de 30 grupos de investigación con más de 10 investigadores por grupo y además varios de ellos cuentan con un gran número de investigadores (> 25). La Figura 4 solo pretende mostrar que muchos grupos de investigación son de tamaño considerable, que cuentan con muchos jóvenes investigadores y que están distribuidos geográficamente a lo largo del todo territorio nacional, no pretende reflejar a ningún grupo en particular.

Es importante resaltar que aparte de los grupos académicos, hay varios centros tecnológicos específicos de polímeros. Véase el apartado “polímeros en la industria”

Dentro de este contexto general, merece la pena destacar la creación de las asociaciones científicas relacionadas con Polímeros y la activa participación de los laboratorios españoles. El grupo especializado de polímeros (GEP) surge en el año 1989 dentro de la Real Sociedad de Física y de Química (a partir de 1980, RSEQ y RSEF) con el fin de promover los encuentros entre los científicos de polímeros del país. Ese año tiene lugar la 1.ª Reunión Nacional de Materiales Polímeros en Valencia y desde entonces, con carácter bienal (las primeras fueron de carácter anual), se han llevado a cabo ininterrumpidamente las reuniones del GEP. En el año 1992, se organizó junto con otros grupos de Polímeros de Latinoamérica, el 1.º Simposio Latinoamericano de Polímeros en Vigo. El último Congreso Latinoamericano de Polímeros (SLAP)

tuvo lugar en el año 2018 en Mar de Plata (Argentina) y el último Congreso del Grupo de Polímeros (XV GEP) en el año 2018 en Huelva. En octubre de 2020 estaba previsto organizar nuevamente el Congreso Latinoamericano de Polímeros GEP-SLAP 2020 en San Sebastián, pospuesto a mayo de 2021 por efectos del COVID19. Las reuniones del GEP se han llevado a cabo prácticamente a lo largo de toda la geografía nacional y el número de asistentes es de 200 por término medio.

Dentro del GEP merece la pena destacar las reuniones de los jóvenes investigadores de polímeros (JIP), de carácter bienal, iniciadas en el año 2002 con el 1.º Congreso Nacional de jóvenes investigadores en La Manga (Murcia); el premio a la Mejor Tesis Doctoral en Polímeros de carácter anual y, desde este año, la creación del premio “Outstanding Young Researcher in Polymers GEP Award”, también de carácter anual.

La evolución de la ciencia de polímeros en España y la situación que ocupa a nivel nacional e internacional la podemos ver reflejada, en una primera aproximación, por la evolución del número de publicaciones. Los siguientes datos demuestran una rápida progresión:

- Publicaciones en España 1947-1967: 264 publicaciones. En estos 20 años, prácticamente toda la producción científica de polímeros, principalmente en castellano, se produjo en el Departamento de Plásticos del CSIC.<sup>[12]</sup> En el período de 1968-1987, el ICTP-CSIC publicó 614. Las publica-



Figura 4. Grupos de investigación de tamaño considerable distribuidos por la geografía nacional

- ciones son principalmente en inglés.<sup>[12]</sup> No se dispone de datos cuantitativos de otras instituciones.
- Publicaciones en España 1988-1997: ca 4.000, cifra estimada. La estimación del número de publicaciones se basa en un breve cálculo comparativo de la producción del ICTP-CSIC para este período: 1.150 (12) y una estimación del número de investigadores de otras instituciones respecto a los del ICTP-CSIC.
  - Publicaciones en España 1996-2017: 10.500. Estas cifras se recogen de la base de datos SCIMAGO. No hay datos previos al año 1996.<sup>[19]</sup>
  - Número de artículos sobre polímeros en España/año en 2019: 663.<sup>[19]</sup>

Merece la pena resaltar que cada 10 años se ha duplicado el número de publicaciones en polímeros y se ha producido un incremento constante en la calidad de las publicaciones.

España ocupa la 4.<sup>a</sup> posición en el *ranking* europeo por número de documentos de polímeros.

### POLÍMEROS EN LA INDUSTRIA

La industria de producción y transformación de plásticos concentra casi el 50% de la industria química de nuestro país. Existen 2.200 empresas de Transformación de Plásticos con más de 100.000 trabajadores y 350 empresas Fabricantes de Materias Primas Plásticas con 11.000 trabajadores. Esta gran producción de polímeros en España se debe a dos hechos fundamentales: uno, porque muchas de las grandes multinacionales de polímeros están implantadas en el país y, dos, porque España es el primer/segundo fabricante de automóviles en Europa, industria que es gran consumidora de polímeros.

Es importante añadir que la ciencia y tecnología de polímeros cuenta con una red de Centros Tecnológicos

### Industrias de plástico. Origen y evolución

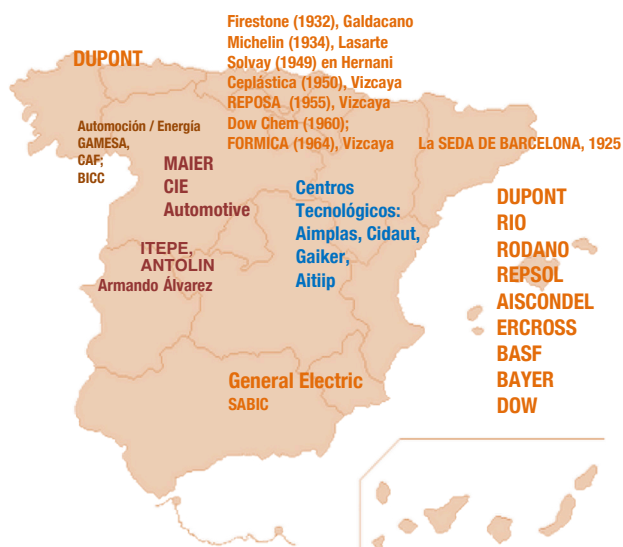


Figura 5. Empresas de polímeros instaladas en España, incluyendo fechas de instalación de las primeras empresas

específicos de polímeros (o mayoritariamente dedicados a ellos) adscritos a distintas comunidades y repartidos por toda la geografía (Figura 5).

### RETOS ACTUALES

A nivel de conocimiento la ciencia de polímeros tiene planteados grandes retos de investigación: Por su gran complejidad estructural, todavía no hay una teoría general que prediga el comportamiento de un polímero en función de su estructura. Se necesitan modelos “realistas” que simulen la estructura y las propiedades de una macromolécula y técnicas muy sofisticadas que permitan profundizar en el conocimiento de la estructura de los mismos. Fenómenos como la adhesión, la dinámica molecular, o el comportamiento reológico de incluso los polímeros más sencillos están lejos de poder ser interpretados y constituyen retos importantes. Sin olvidar los procesos sostenibles de producción de polímeros y los temas relacionados con la reparación, el reciclado y la reducción de residuos

La revista *Macromolecules* (ACS) con motivo de su cincuenta aniversario, en el año 2017, planteó diez retos de investigación (en azul, la autora incluye dos líneas de investigación más).<sup>[20]</sup>

1. Theory of polymer crystallization.
2. Theory of the glass transition and polymer dynamics. Rheology and viscoelasticity, Modelling.
3. Sustainable routes to commodity polymers.
4. Monomer sequence control.
5. Better membranes for separations (water, gases, ions...).

6. Competitive (cost and performance) sustainable polymers
7. Polymers for personalized medicine.
8. Fundamental understanding of ion-containing polymers
9. Robust polymer systems for plastic electronics.
10. Scale-up and processing to retain/perfect nanostructure.

La revista *Progress in Polymer Science*, con motivo del 100 aniversario del nacimiento de la ciencia de polímeros y coincidiendo con el número 100 de la revista, a lo largo de este año está publicando una serie de *hot topics* sobre polímeros propuestos por renombrados científicos.<sup>[2]</sup>

Todos los años se forman alrededor de 50 nuevos doctores en polímeros y se imparten Máster de Especialización en Ciencia y Tecnología de Polímeros, además de otros cursos específicos; sin embargo, a nivel nacional, la docencia universitaria que se imparte sobre la química, química-física, física e ingeniería de las macromoléculas/polímeros, en opinión de la autora, es todavía insuficiente. Un reto nacional sería el fortalecimiento de la formación en polímeros en los departamentos universitarios.

En este apartado merece la pena resaltar la alta demanda de personal formado en polímeros para la incorporación al mundo empresarial.

En el plano industrial, debido a sus características intrínsecas, bajo precio, abundancia, ligereza, fácil fabricación y transformación, capacidad para integrar otros materiales, bajo consumo energético, etc. y del relativo profundo conocimiento que se tiene de ellos, el crecimiento de los polímeros sigue aumentando aproximadamente un 8,4% anual. En el horizonte no parece que haya ningún material que cumpla todas las especificaciones anteriores que le pueda hacer la competencia, por lo que no se prevén cambios de crecimiento importantes que no sean puntuales.

No es difícil imaginar el impacto que la investigación en nuevos materiales va a tener en el próximo futuro en la sociedad actual. Se sabe que toda nueva tecnología (desde el avión de última generación, las plantas potabilizadoras de agua, pasando por el tratamiento de distintas enfermedades) necesita del desarrollo de un conjunto amplio de polímeros (materiales) con propiedades muy específicas. Sin el concurso de dichos materiales estas tecnologías no podrían ser operativas.

No cabe duda de que, precisamente por el gran consumo de plásticos, existe una gran acumulación de los mismos que daña nuestro planeta, por lo que hay que pensar y actuar rápidamente sobre el uso racional de los mismos y su reciclado.



## CONCLUSIÓN

La Ciencia de Polímeros ha experimentado un auge espectacular desde su inicio hace 100 años. Es una ciencia interdisciplinar que se nutre de la química, la física y la ingeniería, como pilares fundamentales y en la que, cada vez más, está involucrada la medicina y la biología, que le obligan a estar en continuo progreso.

Hoy día, los polímeros tienen planteados grandes desafíos científicos y tecnológicos que pueden redundar en beneficio de toda la sociedad.

## AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la Junta de Gobierno del Grupo Especializado de Polímeros la idea de elaborar el presente manuscrito y la confianza depositada en ella para su elaboración. La autora agradece al doctor José Manuel Pereña y al doctor José Miguel García la revisión del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hermann Staudinger, Über polymerisationen, *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* **1920**, *53*, 1073.
- [2] Celebrating 100 years of polymer science, Guy C. Berry, Michael R. Bockstaller, Krzysztof Matyjaszewski, *Progress Polym Sci*, **2020**, *100*, 101193. A lo largo del año 2020, la revista publicará las contribuciones científicas de prestigiosos científicos sobre los aspectos más sobresalientes en: síntesis de polímeros, avances en la arquitectura macromolecular y en las propiedades de los polímeros, autoensamblado, física de polímeros, materiales híbridos, biopolímeros, polímeros para la energía, polímeros para la electrónica, procesado de polímeros y sostenibilidad y medio ambiente.  
<https://www.journals.elsevier.com/progress-in-polymer-science>
- [3] i) The Year of Polymers – 100 Years of macromolecular Chemistry; Ulrich S. Schubert and Stefan Zechel; *Macromol Rapid Commun* **2020**, *41*, 1900620; ii) The Year of Polymers – 100 Years of macromolecular Chemistry; Ulrich S. Schubert and Stefan Zechel; *Macromolecular Chemistry and Physics* **2020**, *221*, Issue 1; iii) Gy. Bánhegyi, *Express Polymer Letters* **2020**, *14*(9), 793.
- [4] 100 Years Macromolecular Chemistry Conference; Organizado por la Division of Macromolecular Chemistry of the Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh, German Chemical Society), Friburgo, Alemania; 27-29 de septiembre de 2020, postpuesta para 12-15 de septiembre de 2021.  
[https://veranstaltungen.gdch.de/tms/frontend/index.cfm?l=9162&sp\\_id=2](https://veranstaltungen.gdch.de/tms/frontend/index.cfm?l=9162&sp_id=2)
- [5] ACS Spring 2020 National Meeting & Exposition. Macromolecular Chemistry: The Second Century. Philadelphia, PA, USA, March 22-26, 2020, cancelada, transformada en formato online.
- [6] “International Online Conference on Macromolecules”. Celebrating 100 years of “Polymer Science, Since Prof. Herman Staudinger’s Pioneering Macromolecular Hypothesis”; *13th-15th November 2020* postponed to September 12-14, 2021.
- [7] Cien años de “Química mugrienta”, por Juan José Iruin, el Blog del Búho, 28-2-2020.
- [8] H. Staudinger, *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (A and B Series)* **1920**, *53*, 1073.
- [9] Otros premios Nobel en química: Robert H. Grubbs, Richard R. Schrock, Yves Chauvin, metátesis olefínica, año 2005; John B. Fenn, Kōichi Tanaka, y Kurt Wüthrich, desarrollo de métodos de identificación y análisis de estructura de macromoléculas biológicas, año 2002.
- [10] *Polymer pioneers, a popular history of science and technology of large molecules*, J. Morris (ed.), 1990.
- [11] Production, use, and fate of all plastic ever made; R. Geyer, J. Jambeck, K. L. Law, *Science Advances* **2017**, *3*, e1700782.
- [12] *50 años del ICTP-CSIC (1947-1997)*, J. L. Mateo, C. Mijangos y J. M. Pereña (eds.), ICTP-CSIC, 1997.
- [13] “60 años polímeros ICTP-CSIC (1947-2007)”, documento electrónico gráfico editado por Paula Bosch, ICTP-CSIC, 2007.
- [14] “70 años de Polímeros en nuestro país. Retos en la Academia y en la Industria”, Carmen Mijangos, conferencia inaugural, XV Congreso de Polímeros, Huelva, septiembre de 2018.
- [15] “La edad de los Polímeros. Un mundo de Plástico”, Lección inaugural del Curso Académico 2014-2015, Burgos 2014, impartida por el Prof. José Miguel García Pérez.
- [16] “Una visión histórica y algunos problemas actuales de la química física de las macromoléculas”. Discurso del Ilmo. Sr. D. José García de la Torre, leído en la Sesión Solemne de apertura de Curso, Academia de Ciencias de la región de Murcia, 19 de febrero de 2010.
- [17] Datos suministrados por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), septiembre de 2018.
- [18] [https://www.mdpi.com/journal/polymers/special\\_issues/ESP](https://www.mdpi.com/journal/polymers/special_issues/ESP)
- [19] SCIMAGSO, <https://www.scimagojr.com/>
- [20] Celebrating 50 Years of Macromolecules; Timothy Lodge (ed.) *Macromolecules* **2017**, 9525-27.