

DISEÑO DE UNA ASIGNATURA SOBRE LA CIENCIA DE LOS POLÍMEROS

Marcelo Calderón, Marisa Martinelli, Cecilia Alvarez Igarzabal y Miriam Strumia

Departamento de Química Orgánica. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina. Correo electrónico: mcs@fcq.unc.edu.ar

Recibido: Noviembre de 2006; Aceptado: Diciembre de 2006

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla la diagramación completa de una asignatura relacionada a la ciencia de los polímeros. El mismo se divide en dos partes, una en la que se presenta un diagrama didáctico que comprende los contenidos correspondientes a aproximadamente el 60% de la currícula de la asignatura, y otra en la que se exponen el resto del contenido y las actividades propuestas.

Palabras claves: enseñanza de polímeros; ciencia de los polímeros

1. INTRODUCCIÓN

¿Por qué es importante en la currícula de una carrera en Ciencias estudiar la química de las macromoléculas?

El estudio de macromoléculas ocupa un lugar muy destacado dentro de la Química, debido a la importancia que estas especies tienen en la Ciencia y Técnica actuales. Por un lado, los polímeros con aplicaciones tecnológicas, son extensivamente usados como plásticos, cauchos, pegamentos, pinturas, etc. Por otro lado, las moléculas biológicas constituyen la base misma de los seres vivos, como proteínas, ácidos nucleicos, polisacáridos, etc. Ambos casos constituyen un claro ejemplo de que los polímeros están en todo aquello que nos rodean, que los usamos a diario, no sólo para vivir, sino también para mejorar nuestra calidad de vida. También abarcan campos limítrofes con la Química, como son la Biología Molecular y la Ciencia de los Materiales.

Por lo tanto, el objetivo que se persigue en incorporar estos temas de trabajo en una materia del plan de estudio en las carreras relacionadas a la química, ingeniería y biología, radica principalmente en brindarle al alumno las herramientas necesarias para avanzar en la búsqueda de nuevos horizontes en el campo de la Ciencia, adquiriendo y/o consolidando conocimientos en la Química de los Polímeros. Otro objetivo es plantear con sencillez la comprensión, tratamiento y

resolución de los problemas que surgen de la química de ese tipo de materiales, con ejemplos didácticos y que cotidianamente se observan en el medio que lo rodea.

2. DIAGRAMA DIDÁCTICO

Para la realización del diagrama didáctico presentado, se llevó a cabo con anterioridad la *selección y secuenciación de los contenidos* a desarrollar en una asignatura semestral relacionada a la ciencia de los polímeros, seguida de un *diseño didáctico* de los mismos.

En el diagrama didáctico se presentan los contenidos correspondientes a aproximadamente el 60% de la currícula de la asignatura. Se propone que la misma forme parte del cuerpo de materias electivas u obligatorias avanzadas de las carreras de Licenciatura en Química (orientaciones en Química Orgánica y en Química Industrial) y Licenciatura en Química Farmacéutica, o del nivel intermedio de carreras de ingeniería relacionadas. Esto último da el marco socio-institucional en el que se encuentra inmersa la asignatura, el cual forma parte de los criterios de selección y secuenciación de los contenidos.

2.1. Consideraciones generales. Toda área del conocimiento posee un *producto* (conocimientos interrelacionados) y un *proceso* (método propio de investigación a través del cual se construyen esos conocimientos y sus relaciones). Los contenidos de una determinada área del conocimiento se refieren a lo que debe aprender un alumno, tanto en lo que hace a los conocimientos (*constructos semánticos*) como a los métodos, procesos y técnicas (*constructos sintácticos*) [1].

De esta forma, la selección y la secuenciación de contenidos en la enseñanza de la ciencia debe realizarse considerando contenidos semánticos, como también contenidos sintácticos; lo cual ha sido considerado para la realización del diagrama didáctico. Así, siempre que se haga una referencia a los contenidos, debe entenderse que se hace referencia a los dos tipos, con la salvedad de los casos en los que se los discrimine en forma explícita.

A la vez, en la selección y la secuenciación de dichos contenidos se consideraron *criterios lógicos* (derivados del análisis del propio conocimiento), *psicológicos* (relacionados con la comprensión del proceso de aprendizaje) y *socio-culturales o socio-institucionales* (referidos al estudio del marco sociocultural e institucional que delimita e incide en los procesos de enseñanza y aprendizaje de ese objeto de conocimiento).

Tanto para la selección de los contenidos, como para su posterior secuenciación, se realizaron los cuestionamientos planteados por *Sánchez Blanco* y *Valcácer Pérez* [2]:

- *Decidir qué contenidos pueden ser necesarios para la identificación supondrá responder a las preguntas: ¿qué es? o ¿qué ocurre? Este contenido tiene un carácter descriptivo y nos debe permitir conocer aquellas propiedades o funciones características. Las respuestas a este tipo de preguntas se encuentran en la mitad superior del diagrama donde se tratan los constructos básicos (cuadros de texto con coloración). Dichos constructos están relacionados a los aspectos generales de la síntesis de polímeros.*
- *Para los contenidos de la interpretación debemos responder a las preguntas: ¿por qué es así? o ¿por qué ocurre de este modo? Es un contenido que tiene un carácter explicativo y nos debe permitir ir más allá de los aspectos perceptivos. Las respuestas a estas preguntas se encuentran en la mitad inferior del diagrama, sin incluir las actividades prácticas, seminarios y experimentales, que responden las preguntas que se presentan en el ítem siguiente (cuadros de texto sin coloración). Los contenidos de carácter explicativos están relacionados a los aspectos mecanísticos, a las consideraciones cinéticas y termodinámicas y a las propiedades de los materiales poliméricos.*
- *Seleccionar los contenidos referidos a la aplicación, como transferencia a otras situaciones, supondrá responder a las preguntas: ¿para qué sirve este conocimiento? o ¿qué nos puede explicar? Es un contenido que tiene un carácter funcional y predictivo, y nos debe permitir mostrar la relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.*
- *A la vez, se deben responder otras preguntas al seleccionar los contenidos procedimentales, pues sólo así estos nuevos contenidos tendrán significado científico, perdiendo su carácter anecdótico. ¿Cuál es el conocimiento al que pretendemos llegar con los procedimientos que seleccionamos?; ¿a qué preguntas o problemas da respuesta ese conocimiento?; ¿qué conceptos están implícitos en esas preguntas y cuales debe conocer el alumno para encontrarle sentido al estudio del hecho seleccionado?; ¿cuáles son los procedimientos que se requieren para responder a las preguntas determinantes y llegar a las afirmaciones de conocimiento que deseamos que aprendan nuestros alumnos?. Las respuestas a estos interrogantes se encuentran explicitados a lo largo de todo el diagrama.*

2.2. Criterios lógicos. A partir de criterios lógicos se realizó la selección de contenidos por medio de una jerarquización de los constructos semánticos, partiendo de los más básicos y con menores requerimientos intelectuales (como conceptos básicos de química orgánica, definición de funcionalidad, de polimerización y sus requerimientos), hasta los más complejos y específicos (diversos tipos y procesos de polimerización, su estudio cinético y mecanístico, y aplicaciones científicas y tecnológicas). En base a esta jerarquización, se realizó la *selección de contenidos* que presentan validez, representatividad, profundidad y potencialidad múltiple para lograr objetivos múltiples (lo que surge como una necesidad al corresponder los alumnos a distintas carreras y orientaciones, y con distintos propósitos).

La *secuenciación de los contenidos* según criterios lógicos se llevó a cabo por estructuras modelo semánticas y sintácticas, que expresan relaciones de coordinación, subordinación o supracordinación entre diferentes constructos.

Al conducir la secuencia de los contenidos un proceso de carácter deductivo, se consideraron las seis condiciones fundamentales de *Raven*, para la selección y secuenciación: fertilidad lógica, conexiones múltiples, estabilidad y permanencia, extensibilidad, elegancia y simplicidad, y causalidad [3].

2.3. Criterios psicológicos. Los criterios psicológicos de *selección de contenidos* responden al requerimiento de que los contenidos sean seleccionados en función de las características psicológicas e intelectuales del grupo de alumnos al que se le impartirá un dado conocimiento.

Así, para la selección de los contenidos se tuvieron en cuenta varios de los principios básicos de las concepciones psicológicas cognitivas: nivel de desarrollo operatorio, conocimientos previos, zonas de desarrollo próximo, aprendizaje significativo, contenidos potencialmente significativos, actividades por parte del alumno, etc.

Debido a que el docente debe poseer una mínima formación teórica acerca de los niveles de desarrollo y del proceso evolutivo de las características psicológicas (cognitivas y afectivas) del alumno, dos referencias fueron consideradas como indicadores de la capacidad cognitiva del alumno: sus conocimientos previos sobre el tema y el nivel del desarrollo operatorio donde se encuentran los alumnos en relación con las habilidades intelectivas necesarias para la comprensión de la Ciencia [4]. Ambas referencias, en forma general, son conocidas en el presente marco, debido a que el perfil psicológico que presentan los estudiantes que optan por cursar la asignatura es definido:

alumnos de los últimos años de las carreras citadas, con un nivel de abstracción ya desarrollado y con conocimientos básicos de química orgánica.

La *secuenciación de contenidos* desde el punto de vista psicológico se llevó a cabo adoptando la idea de *Gagné* [5]. Según ésta, cualquier tarea puede descomponerse en un conjunto de subtareas ordenadas jerárquicamente en función de la complejidad de las capacidades intelectuales involucradas. Así, la secuencia de aprendizaje involucra tres pasos fundamentales: identificación de la tarea; identificación de los componentes de la tarea o subtareas; secuenciación de los componentes identificados en función de la complejidad de las capacidades intelectuales que hacen intervenir, de tal manera que los más simples sean aprendidos antes de pasar a los más complejos.

Así, se puede ver en el diagrama, que los contenidos más básicos y generales son tratados en primer lugar, aumentando el nivel de complejidad y abstracción requerida al alumno, hasta llegar al final del diagrama con una formalización *matemática o de aplicación de los contenidos*.

2.4. Criterios socio-culturales o socio-institucionales. Las bases para la definición del criterio socio-cultural o socio-institucional utilizado para la *selección y la secuenciación de los contenidos*, están dadas por el marco institucional en el que la asignatura se encuentra.

Como se ha mencionado anteriormente, se propone el dictado de la asignatura en niveles intermedios o superiores de las carreras. Por esta razón, es una materia que presentaría como correlativas obligatorias, otras asignaturas en las cuales se encuentran incluidos los contenidos básicos y necesarios para el dictado de la misma.

Para que la asignatura tenga una orientación hacia alumnos de licenciaturas de las áreas químicas, los *contenidos serían seleccionados* haciendo un mayor enfoque en los aspectos químicos microscópicos. Para brindar un enfoque aplicado a la docencia en carreras de ingeniería, se debería enriquecer el análisis de los contenidos relacionándolos con procesos macroscópicos o industriales. En este caso han sido seleccionados contenidos relacionados con las aplicaciones de la síntesis de polímeros, que cumplen un rol importante en relación ciencia-tecnología-sociedad, de gran relevancia para la formación de los alumnos, para su inserción en la sociedad, y en la contribución en su desarrollo.

La *secuenciación de contenidos* de acuerdo a criterios socioculturales responde a la política de enseñanza correspondiente a ambas carreras en las que se dicta la asignatura. En la gran mayoría de las asignaturas de ciclo básico e intermedio, se presenta una secuencia de los contenidos

que responde a una transformación del sistema cognitivo del alumno hacia la preferencia por el razonamiento deductivo. De esta forma, se imparten los conocimientos dejando en manos del alumno, gran parte de la formalización de dichos conocimientos en aplicaciones de los mismos o en explicaciones de mayor profundidad o rigurosidad.

2.5. Diseño didáctico. Una vez finalizados los procesos de selección y secuenciación de los contenidos a desarrollar, se lleva a cabo el diseño del diagrama didáctico, utilizando criterios didácticos de secuenciación.

Los pasos seguidos, de acuerdo al tipo determinado de criterio didáctico [4], son:

- Determinación del propósito (que el alumno comprenda y asimile los conceptos relacionados a la síntesis de polímeros).
- Determinación del eje (síntesis de polímeros), subejos (tipos y técnicas de polimerización) y núcleos temáticos.
- Jerarquización de los núcleos, por secuencia.
- Elaboración del mapa didáctico.

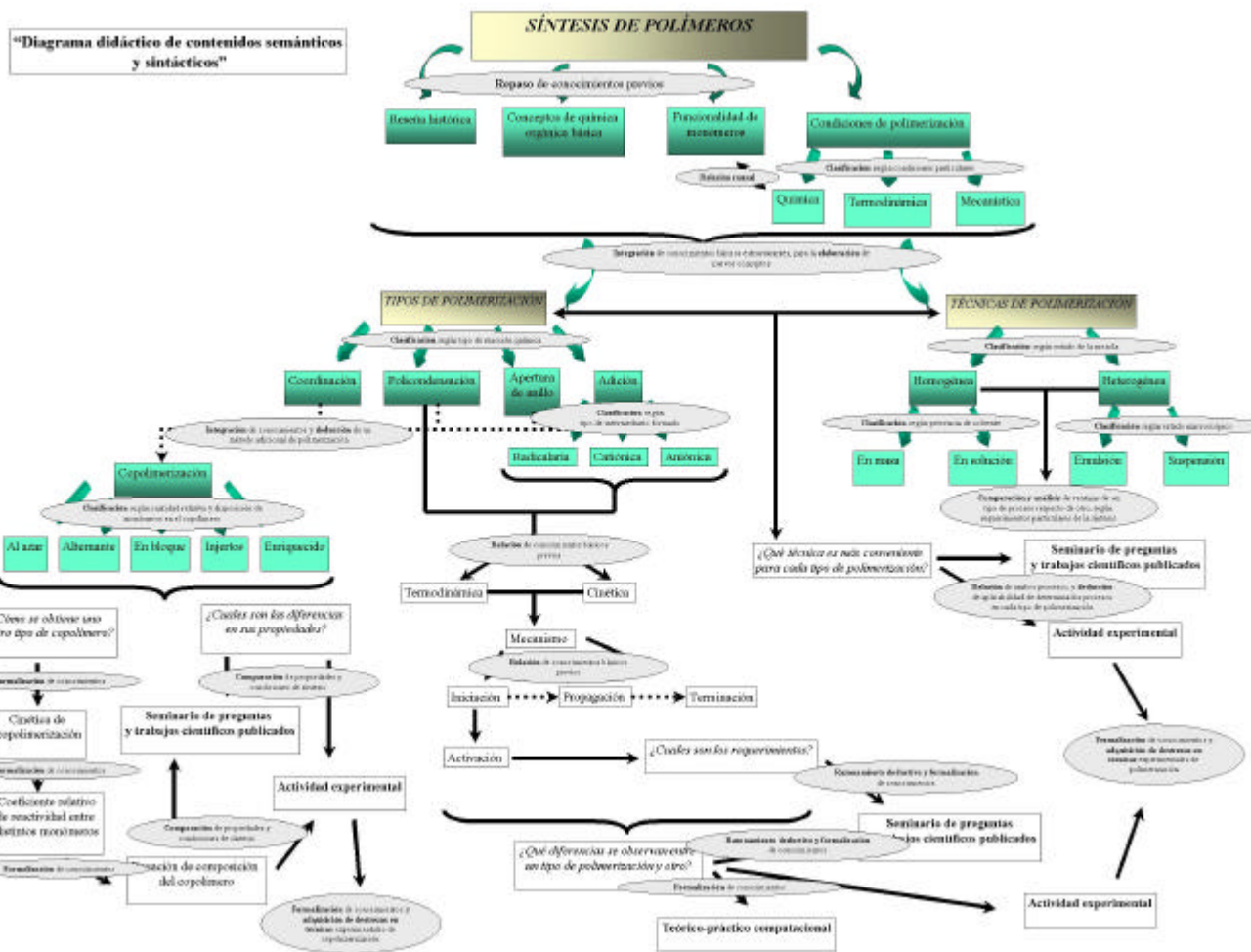
3. ACTIVIDADES PROPUESTAS

Para completar la currícula de la asignatura y las actividades detalladas en el diagrama didáctico se propone el tratamiento teórico de tópicos relacionados a la caracterización y aplicación de los polímeros, y el dictado de actividades teórico-prácticas, actividades experimentales y seminarios de discusión.

3.1. Tópicos a desarrollar [6-17].

- Caracterización e identificación de compuestos macromoleculares: caracterización en solución. Fraccionamientos y distribuciones macromoleculares, Permeación por geles (cromatografía de exclusión molecular), espectroscopia IR y ATR, y espectroscopia RMN.

- Polímeros en solución: solubilidad y dependencia. Consideraciones termodinámicas. Comportamiento de los polímeros en soluciones diluidas. Distribución espacial de las macromoléculas y parámetros estadísticos. Procedimientos experimentales para la evaluación de los parámetros estadísticos y sus variables.



- Determinación de pesos moleculares. Diferentes tipos de pesos moleculares que caracterizan una macromolécula. Viscosimetría. Determinación experimental de la viscosidad. Tipos de viscosímetros. Comportamiento térmico de los polímeros. Temperatura de transición vítrea. Temperatura de fusión. Estados amorfos y cristalinos.

- Propiedades reológicas y mecánicas. Polímeros sólidos, líquidos, fundidos. Comportamiento de los polímeros frente a la aplicación de una fuerza. Efectos elásticos y viscoelásticos. Resistencia a la tracción, flexión e impacto. Conceptos de tenacidad, ductilidad, maleabilidad.

- Relación Estructura-Propiedad. Presencia de interacciones primarias y secundarias. Características que definen la presencia de un plástico, fibra, elastómero, pinturas y revestimientos. Discusión de ejemplos prácticos.

- Procesos y tecnologías usadas en la fabricación de materiales poliméricos. Films de uso industrial. Soportes poliméricos de aplicación en diferentes técnicas cromatográficas: intercambio iónico, permeación por geles (cromatografía de exclusión molecular), afinidad cromatográfica, etc. Discusión de los usos más importantes de los materiales plásticos. Conceptos generales de reciclado e impacto ambiental.

3.2. Actividades Experimentales. El objetivo de las actividades prácticas es que los alumnos lleven a cabo síntesis y modificación química de polímeros y realicen estudios de caracterización y ensayos de aplicación de polímeros.

Para cumplir con dicho objetivo se propone la realización de cuatro actividades experimentales de cinco horas cada una. Las actividades a realizar se presentan en el siguiente cronograma:

- **Actividad N° 1** Esta actividad puede ser precedida por la actividad teórico-práctica relacionada a los diferentes métodos de polimerización. Se propone la realización de una polimerización interfacial [18-21] para la síntesis de Nylon 6,6 y de una polimerización en solución para la síntesis de poliacrilonitrilo y de un copolímero acrilonitrilo-metacrilato de metilo [22]. Todos los productos serán caracterizados por espectroscopia IR, en cuanto a la formación de los nuevos compuestos y la composición monomérica del copolímero. Adicionalmente se propone la modificación química de la agarosa con epíclorhidrina para obtener un soporte activado para la derivatización, y la posterior obtención (en las actividades siguientes) de un soporte a ser usado en afinidad cromatográfica [23-29].

- **Actividad N° 2** Las actividades a realizar involucran la caracterización de la agarosa modificada en la Actividad N° 1, por cuantificación de los grupos epóxidos de la matriz [30], y la modificación de la misma por reacción con ácido iminodiacético (IDA). Además se realiza la síntesis de hidrogeles de poliacrilamida [31], utilizando diferentes porcentajes de entrecruzante.

- **Actividad N° 3.** Esta actividad está relacionada con la caracterización de materiales poliméricos entrecruzados, por determinación de los parámetros de hinchamiento, tales como q_v , q_w , y cinética de hinchamiento [6, 32-34]. Entre los materiales caracterizados se encuentran los materiales entrecruzados utilizados en las anteriores actividades, tales como la agarosa, agarosa modificada, hidrogeles de poliacrilamida con diferente grado de hinchamiento. Además, se caracteriza la agarosa modificada con IDA, por cuantificación de los grupos ácido, y la posterior retención de Fe^{3+} [30].

- **Actividad N° 4.** En esta actividad se realiza un ensayo de aplicación del soporte para ser utilizado en afinidad cromatográfica de metal inmovilizado que fue sintetizado en las anteriores actividades. El soporte es utilizado en la purificación de α -lactoalbúmina [35].

3.3. Seminarios de discusión. La mayor parte de la formalización de los conocimientos se realiza en seminarios de discusión de trabajos científicos en los que se tratan en forma específica, ejemplos de síntesis y caracterización de polímeros, formación de retículos poliméricos y aplicaciones.

Los trabajos analizados tratan fundamentalmente respecto de aspectos básicos relacionados a cada tópico. A partir de los mismos, se propone en cada seminario de discusión la elección de publicaciones recientes, a ser tratadas en un seminario final.

En cada uno de los temas se tratan los ejemplos que se citan a continuación.

Tema 1: *Síntesis y caracterización de polímeros*

- Inconvenientes y alternativas sintéticas en síntesis de poliiminas [36].
- Esquema sintético y caracterización de prepolímeros [37].
- Caracterización por RMN, de la tacticidad [38] y la composición monomérica [39].
- Caracterización de la composición monomérica por IR [40].
- Determinación de propiedades térmicas por calorimetría diferencial de barrido (DSC) y determinación de la distribución de pesos moleculares por cromatografía de permeación por geles (cromatografía de exclusión molecular) [41].
- Caracterización por 1H -RMN y DSC [42].

Tema 2: *Formación de retículos poliméricos*

- Poliuretanos [43, 44].
- Poliésteres [45].
- Resinas epoxy [46-49].
- Hidrogeles [50, 51].
- Geles superabsorbentes [52].

Tema 3: *Aplicaciones de polímeros*

- Adsorbentes [53].
- Soportes funcionalizados [54].
- Soportes en afinidad cromatográfica [55].
- Carriers en liberación controlada [56].
- Resinas de intercambio iónico [57].
- Biomateriales [58].
- Adhesivos [59].

3.4. Actividades teórico-prácticas. En las actividades teórico-prácticas se propone el estudio de los diferentes tipos y técnicas de polimerización, y la caracterización de los diferentes estados de agregación de los polímeros en actividades realizadas en el gabinete de computación.

Tema 1: El objetivo fundamental de esta actividad es analizar y comprender como la estructura química de las cadenas poliméricas afectan las propiedades estructurales de los polímeros. Además, se podrá familiarizar con dos de los sistemas en que se clasifican a las polimerizaciones, según la naturaleza de las reacciones químicas llevadas a cabo, como son por adición y por condensación. El trabajo estará dado por la consulta de conceptos a partir del sitio de INTERNET Macrogalería [16].

Tema 2: Se analiza el comportamiento de los polímeros de acuerdo al estado de agregación que presenten. Se realiza el análisis de los modelos presentados en el programa Giant Molecules (Grosberg y Khoklov "Giant Molecules". Academic Press).

4. CONCLUSIÓN

Se desarrolló la diagramación completa de una asignatura relacionada a la ciencia de los polímeros, considerando tanto los constructos semánticos como sintácticos. Para la selección y

secuenciación de los contenidos se consideraron criterios lógicos, psicológicos y socio-culturales o socio-institucionales.

Para completar la currícula de la asignatura y las actividades detalladas en el diagrama didáctico se propuso el tratamiento teórico de tópicos relacionados a la caracterización y aplicación de los polímeros, y el dictado de actividades teórico-prácticas, actividades experimentales y seminarios de discusión.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] C.P. Aranega, y A.L. De Longhi, "Selección y organización de contenidos en la enseñanza-aprendizaje de la Ciencia y la Tecnología", *Trabajos de Educación en Ciencias*, **3**, 6, (1987)
- [2] G. Sanchez Blanco, M.V. Valcácer Pérez, "Diseño de unidades didácticas en el área de las Ciencias Experimentales". *Enseñanza de las Ciencias*, **11(1)**, 37 (1993)
- [3] J.R. Raven "Toward a philosophical basis for selecting science currículo content". *Curriculum Theory Network*, **4**, 11 (1970)
- [4] C.P. Aranega, A.L. De Longhi "Selección y organización de contenidos en la enseñanza-aprendizaje de la Ciencia y la Tecnología". *Trabajos de Educación en Ciencias*, **3**, 11 (1987).
- [5] R. Gagne "The Conditions of Learning". 4ª edición. Holt, Rinehart & Winston, Nueva York 1985
- [6] F. Billmeyer "Ciencia de los polímeros", Editorial Reverté S.A, Barcelona 1984
- [7] S. Rosen "Fundamental Principles of Polymeric Materials", 2ª edición, J. Wiley & Sons, Nueva York 1993
- [8] I. Katime "Química Física Macromolecular". Editorial de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Bilbao (1994); I. Katime y C. Cesteros "Química Física Macromolecular. II. Disoluciones y Estado Sólido", Editorial de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Bilbao (2004).
- [9] Ch. Carraher jr. "Seymour/Carraher's Polymer Chemistry", CRC Press, Boca Ratón, Florida, 2003
- [10] G.S. Misra "Introductory Polymer Chemistry" J. Wiley & Sons, Nueva York (1993)
- [11] J. Nicholson "The Chemistry of Polymers", The Royal Society of Chemistry, Londres (1997)
- [12] H. Elias "Macromolecules. Synthesis, Characterization and Technology", John Wiley and Sons Ltd, Nueva York (1977)

- [13] F. Albwin, L. Gargallo, E. Lissi “*Macromoléculas en solución*”, Unesco CHI 84/006, (1987)
- [14] H. Morawetz “*Macromolecules in solution*“, Krieger Pub Co, 1983
- [15] W. Diver “*Química y Tecnología de los Plásticos*”. Compañía Editorial Continental. 1ª edición. Editorial CECSA, (1979).
- [16] Macrogalería: <http://www.psrc.usm.eu/macrog/index.htm>
- [17] A. Horta Zubiaga “*Macromoléculas*”, volúmenes 1 y 2. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid (1991)
- [18] P.W. Morgan, S.L. Kwolek, *J. Chem. Educ.*, **36**, 182 (1959)
- [19] G.C. East, S. Hassell, *J. Chem. Educ.*, **60**, 69 (1983)
- [20] K.P. Long, *J. Chem. Educ.*, **56**, 420 (1979)
- [21] N.C. Rose, *J. Chem. Educ.*, **44**, 283 (1967)
- [22] K.L. Ekpenyong, R.O. Okonkwo, *J. Chem. Educ.*, **60**, 429 (1983)
- [23] G. Hermanson “*Immobilized affinity ligand techniques*”, **6**, 17, 118, 179 y 343, Academic Press, Londres (1992)
- [24] J. Porath, *Nature*, **258**, 598 (1975)
- [25] L. Andersson, J. Porath, *Analytical Biochemistr*, **154**, 250 (1986)
- [26] B. Lonnerdal, C. Keen, *J. Appl. Biochemistry*, **4**, 203 (1982)
- [27] L. Sundberg, J. Porath, *J. Chromatography*, **90**, 87 (1974)
- [28] J. Pazur, *Advance in Carbohidrate Chemistry and Biochemistry*, **39**, 405 (1980)
- [29] H. Guildford, *Chemical Society Reviews*, **2**, 3, 249 (1973)
- [30] M. Lee, K Neville “*Handbook of Epoxy Resins*”, McGraw Hill, Nueva York (1967)
- [31] G. Hermanson “*Inmobilized Affinity Ligand Techniques*”, Academic Press, 17, (1992); I. Katime, O. Katime, D. Katime “*Los materiales inteligentes de este Milenio: Los hidrogeles inteligentes. Síntesis, propiedades y aplicaciones*”. Servicio editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao 2004
- [32] E.A. Collins, J. Bares, F.W. Billmeyer jr. “*Experiments in Polymer Science*”, John Wiley & Sons, Nueva York, 1973
- [33] V.R. Gowariker, N.V. Viswanathan, J. Sreedhar “*Polymer Science*”, John Wiley & Sons, Nueva Delhi, 1986
- [34] K. Dusek, *Advance in Polymer Science*, **109**, Springer-Verlag, Berlin 1993
- [35] R.F. Boyer, *J. Chem. Educ.*, **68**, 430 (1991)

- [36] L.J. Mathias, T. Viswnathan, *J. Chem. Educ.*, **64**, 639 (1987)
- [37] Wen-Yen Chiang, Shao-Ching Chan, *J. Appl. Polym. Sci.*, **37**, 1669 (1989)
- [38] T. Viswanathan, F. Watson, D.T.C. Yang, *J. Chem. Educ.*, **68**(8), 685 (1991)
- [39] G. L. Hardgrove, D. L. Tarr, G.L. Miessler, *J. Chem. Educ.*, **67**(11), 979 (1990)
- [40] L.J. Mathias, M.G. Hankins, C.M. Bertolucci, T.L. Grubb, J. Muthiah, *J. Chem. Educ.*, **69**(8), A217 (1992)
- [41] S.P. Nunes, P. Jr. Alves, F. Galembeck, *J. Chem. Educ.*, **67**(11), 982 (1990)
- [42] S. Agarwal, V. Choudhary, I.K. Varma, *J. Appl. Polym. Sci.*, **53**, 1525 (1994)
- [43] R.B. Seymour, G.B. Kauffman, *J. Chem. Educ.*, **69**(11), 909 (1992)
- [44] S.F. Wang, S.J. Grossman, *J. Chem. Educ.*, **64**, 39 (1987)
- [45] R.F. Toorkey, K.C. Rajanna, P.K. Prakash, *J. Chem. Educ.*, **73**, 372 (1996)
- [46] M. Ochi, J.P. Bell, *J. Appl. Polym. Sci.*, **29**, 1381 (1994)
- [47] Wen-Yen Chiang, Shao-Ching Chan, *J. Appl. Polym. Sci.*, **43**, 1827 (1991)
- [48] B. Boutevin, J.P. Parisi, J.J. Robin, C. Roume, *J. Appl. Polym. Sci.*, **50**, 2065 (1993)
- [49] M.A. González y H. E. Bertorello, *Polymer Bull.*, **18**, 391 (1987)
- [50] Jiang Bo, *J. Appl. Polym. Sci.*, **46**, 783 (1992)
- [51] *Protides of Biological Fluids*, **23**, 495 (1975)
- [52] F.L. Buchholz, *J. Chem. Educ.*, **73**, 513 (1996)
- [53] Hongjun Wang, Jianbiao Ma, Yuehua Zhang y Binglin He, *Reactive and Functional Polymers*, **32**, 1 (1997)
- [54] J. Font “*Química en fase sólida*”.
- [55] J. Porath, *Nature*, **258**, 598 (1975)
- [56] R.L. Mikkelsen, *Fertilizer Reserch*, **38**, 53 (1994)
- [57] A. Trochimczuk, B.N. Kolarz y M. Wojaczynska, *Reactive and Functional Polymers*, **7**, 197 (1988)
- [58] The 19th Annual Meeting of the Society for Materials, 28 Abril al 2 Mayo de 1993, Birmingham USA, página 48.
- [59] H.W. Coover y J.M. McIntire “*Adhesive Bonding*”, Cap. 2, Pag 17-19, Cap. 34, Pag 569.