

**DISEÑO Y PREPARACIÓN DE NUEVAS MEMBRANAS  
DE SEPARACIÓN DE GASES CON MEJOR BALANCE  
PERMEABILIDAD/SELECTIVIDAD.**

Investigador responsable: Angel Emilio Lozano López  
Grupo de Policondensación y Membranas Poliméricas  
Departamento de Química Macromolecular  
Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (C.S.I.C.)  
Juan de la Cierva 3, 28006 Madrid

## MEMORIA

### *Introducción*

Uno de los avances tecnológicos más importantes del final del siglo XX ha sido el desarrollo industrial de procesos de separación por membranas como son la ultrafiltración, la diálisis, la ósmosis inversa, la pervaporación o la permeación selectiva de gases industriales [1-4]

Aunque estos avances han ido asociados al descubrimiento de nuevos materiales de diversos tipos: cerámicos, metálicos, poliméricos; hasta el momento, solo los polímeros han permitido resolver favorablemente las relaciones prestaciones-precio-durabilidad que han de cumplirse en cualquier desarrollo industrial.

En este contexto se inscribe este proyecto, que está dirigido al diseño y preparación de nuevas membranas poliméricas para ser evaluadas como materiales alternativos en procesos de separación de gases.

La separación de gases mediante membranas selectivas es una operación todavía poco desarrollada que ha encontrado utilidad en casos concretos, pero no ha conseguido desplazar todavía a los procesos tradicionales como son la separación mediante absorbentes específicos o la destilación criogénica. No obstante, se han producido ya algunos desarrollos de interés industrial (puede señalarse que el 30 % del nitrógeno industrial se produce ya por separación de los componentes del aire mediante membranas poliméricas semipermeables) y se cuenta además con el conocimiento necesario para la explotación de las membranas, gracias al gran esfuerzo innovador realizado por muchos grupos en todo el mundo [5-11]

Aunque existen muchos tipos de polímeros, y aparecen nuevas estructuras continuamente, muy pocos ofrecen un balance de propiedades adecuado para ser candidatos en el campo de la separación de gases. Si consideramos las condiciones de innovación y potencial competitividad exigibles, solo pueden considerarse los polímeros que cumplan con los siguientes requisitos mínimos:

- Capacidad de procesado a filmes y membranas, preferiblemente a partir de disoluciones
- Baja o nula cristalinidad
- Temperatura de transición vítrea al menos 100 °C superior a la ambiente

- Estabilidad térmica por encima de 300 °C (TGA, aire)
- Buenas propiedades mecánicas (Carga a rotura > 60 MPa, Módulo >2 GPa)
- Buena resistencia química

Salvo escasísimas excepciones, únicamente algunos polímeros de condensación aromáticos son capaces de satisfacer estas condiciones.

Además, los materiales obtenidos han de reunir unas propiedades como membranas que los hagan competitivos. Por ejemplo, para la pareja oxígeno/nitrógeno se pretende alcanzar permeabilidades al oxígeno superiores a 50 Barrers (1 Barrer=  $10^{-10} \text{cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}$ ) y selectividades oxígeno/nitrógeno superiores a 8, y para la pareja dióxido de carbono/metano, permeabilidades al dióxido de carbono superiores a 100 Barrers, con selectividades dióxido de carbono/metano superiores a 40. Estas son condiciones al alcance de muy pocos polímeros, incluso dentro del campo de los polímeros especiales que acabamos de comentar.

Es por ello del máximo interés el desarrollo de nuevos polímeros, que ofrezcan unas características sustentadas por una composición química más adecuada, capaces de conducir a membranas con mejores propiedades. Esto exige una gran capacidad para la síntesis de nuevas estructuras, diseñadas en función de la propia experiencia y del conocimiento al que se tiene acceso, que permitan mejorar los materiales que se usan en la actualidad.

El mecanismo de actuación de las membranas para gases está basado principalmente en la separación por difusión, actuando las membranas como tamices a nivel molecular, que permiten el paso de los gases a través del volumen libre del sistema (volumen no ocupado por las cadenas de polímero dentro del material). Según este mecanismo, la movilidad de las moléculas de gas se produce gracias a pequeñas reorganizaciones de la cadena polimérica, y por tanto del volumen libre, que permiten el salto de la molécula de gas desde un microhueco a otro. Por ello, el principal factor que controla la separación es la diferencia de tamaño entre los diversos gases, aunque existen también otros factores importantes, principalmente la solubilidad, parámetro termodinámico controlado por las interacciones entre las moléculas de los gases y las moléculas de polímero.

Como consecuencia de este mecanismo, existe una relación inversa entre la permeabilidad de una membrana frente a diferentes gases y su capacidad para separar estos

gases (selectividad). Esta relación, prácticamente universal, es el principal inconveniente que presentan las membranas frente a otros procesos de purificación de gases, puesto que cuando se consigue un aumento de permeabilidad, se produce simultáneamente una disminución de selectividad y viceversa.

Sin embargo, el conocimiento adquirido durante los últimos años en este campo ha permitido establecer algunas reglas básicas para conseguir que los aumentos de una de estas dos características de las membranas conduzcan a una disminución lo más pequeña posible en la otra. Se ha encontrado que los mejores materiales para estas membranas están basados en polímeros amorfos, con estructuras que dificulten el empaquetamiento, lo que da lugar a una elevada fracción de volumen libre y por ello a mucha permeabilidad, pero que al mismo tiempo posean una extraordinaria rigidez, lo que disminuirá la movilidad de las cadenas y facilitará el comportamiento como tamices moleculares, dando lugar a una elevada selectividad. Dentro de este ámbito, las poliimididas aromáticas, cuya estructura se esquematiza en la Figura 1 se han revelado como los mejores polímeros, debido a su altísima rigidez, sus excelentes propiedades térmicas y mecánicas y la posibilidad de obtener estructuras a medida, mediante la introducción de diferentes grupos modificadores. En particular, las poliimididas con grupos laterales voluminosos han dado lugar a membranas con excelentes propiedades.

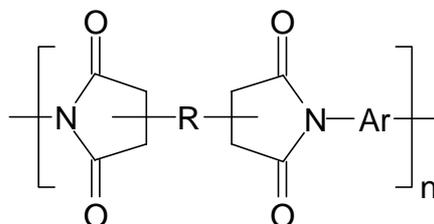


Figura 1. Esquema de la estructura de una poliimida aromática

No obstante, algunos de los principales inconvenientes que ha encontrado la investigación en este campo provienen de la forma de definir y caracterizar el volumen libre y la rigidez. Así, normalmente se ha recurrido a los métodos de ensayo y error, sintetizando nuevas estructuras *a ojo* y determinando sus propiedades de membrana, para modificar estas estructuras en función de los resultados obtenidos [12,13].

Es necesario, por tanto, un método más elaborado, que permita la selección de los polímeros en función de su estructura a nivel micro y mesoscópico, haciendo posible la

determinación de los parámetros que controlan tanto la fracción de volumen libre como la rigidez de cadena.

La determinación de la fracción de volumen libre se lleva a cabo habitualmente a partir de la medida experimental del volumen específico y del cálculo del volumen de van der Waals (volumen ocupado exclusivamente por la molécula) por diferentes métodos. Aunque este método es bastante fiable, tiene dos inconvenientes fundamentales: a) exige la síntesis del polímero para determinar su densidad experimental, b) permite determinar la fracción global de volumen libre, FFV, pero no permite conocer como es la distribución del volumen libre en el material (el comportamiento de una membrana será muy diferente en función de que existan pocos huecos grandes o muchos huecos pequeños). Otras técnicas más precisas en la determinación de la FFV y su distribución (aniquilación positrónica (PALS), RMN- $^{129}\text{Xe}$ , etc), son muy complejas y su análisis es difícil de realizar.

Por lo que respecta a la movilidad de las cadenas, se han postulado diferentes parámetros para determinarla. El más utilizado es la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), que también plantea el inconveniente de que es necesario obtener el polímero para determinarla experimentalmente. Además, resultados preliminares obtenidos en nuestro grupo han mostrado que este parámetro, que determina la movilidad de fragmentos de cadena relativamente grandes, no es capaz de predecir la movilidad de fragmentos más pequeños, o de sustituyentes laterales de la estructura, que normalmente es suficiente para que se produzcan reorganizaciones en la distribución del volumen libre, que permitan el salto de la molécula de gas de un hueco a otro. Por ello, para una adecuada caracterización de la movilidad es necesario determinar, además de la  $T_g$ , las relajaciones que se producen a temperaturas inferiores a la  $T_g$  (relajaciones  $\beta$  y  $\gamma$ ) e intentar correlacionarlas con los parámetros de permeabilidad y selectividad de la membrana. Esas transiciones se ven afectadas en algunos casos por la presencia de ciertas moléculas en el medio ( $\text{H}_2\text{O}$  o gases que posean momentos dipolares, cuadrupolares o capacidad de formar enlaces de hidrógeno, como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SH}_2$ ). La presencia de estos gases afectará a las propiedades de las membranas y por ello, una de las ideas que se proponen en este trabajo es realizar determinaciones de las propiedades mecano-dinámicas y dieléctricas de los polímeros *plastificados* con esos gases.

Además, sería del máximo interés poder predecir tanto la distribución de volumen libre como la movilidad de las moléculas a un nivel microscópico, basándose

únicamente en la estructura polimérica y sin necesidad de sintetizar el polímero previamente.

Por ello, un objetivo fundamental de este proyecto es contribuir al desarrollo de materiales para membranas mediante un diseño basado en el conocimiento, con una reducción drástica del tiempo y los medios requeridos por los métodos exploratorios tradicionales basados en ensayo y error, que implican preparación de nuevos materiales y medida experimental de sus propiedades. Debe tenerse en cuenta que un experimento típico para la determinación de las propiedades de una nueva membrana implica la síntesis de nuevos monómeros y polímeros, la preparación de la membrana y la realización de experimentos de permeabilidad y selectividad, y representa un costo de entre 5000 y 10000 euros, con el inconveniente añadido de que el resultado puede no ser favorable. Por tanto, se considera fundamental el diseño de estos nuevos polímeros, partiendo no sólo de los datos experimentales previos sino también de un modelado por ordenador que permita una buena correlación entre estructura química y propiedades a nivel micro y mesoscópico. Mediante estos métodos habrá que sintetizar únicamente los materiales que *a priori* vayan a dar buenas propiedades, lo que debe evitar el gasto innecesario de tiempo y recursos.

Consecuentemente, se prestará particular atención al modelado, mediante métodos de dinámica molecular y mecánica molecular. Se realizarán estudios teóricos previos que permitan el cálculo de los parámetros que más directamente influyen en el comportamiento de las membranas (fracción y distribución de volumen libre y rigidez de cadena) con el fin de determinar, *a priori*, el comportamiento de la membrana.

### ***Objetivos***

A la vista de lo expuesto, se resumen a continuación los objetivos que pretenden alcanzarse en este proyecto

- 1) Obtención de nuevos resultados en el campo de la preparación de polímeros de especiales prestaciones. Puesta a punto de nuevos métodos de síntesis de monómeros y polímeros.
- 2) Preparación de nuevas familias de polímeros de altas prestaciones con aplicación en membranas semipermeables para separación de gases,
- 3) Obtención, mediante simulación por ordenador (mecánica molecular y dinámica molecular) de propiedades microscópicas de las membranas de separación de gases

(volumen libre, distribución de volumen libre, movilidad molecular) que permitan, por las mismas técnicas, predecir el comportamiento macroscópico (coeficientes de difusión, coeficientes de solubilidad, selectividad)

4) Obtención de nuevas membranas para las aplicaciones comentadas más arriba, con propiedades que al menos iguallen a las de las membranas comerciales, con especial énfasis en los siguientes gases: H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.

5) Análisis de los resultados obtenidos en los puntos anteriores para encontrar relaciones estructura-propiedades, y en especial las relaciones composición química-propiedades de permeación de gases. Este punto es fundamental en los estudios de nuestro grupo pues nos está permitiendo obtener polímeros que poseen una combinación de permeabilidad y selectividad muy superior a la presentada por polímeros comerciales utilizados en procesos de separación.

### ***Metodología***

El proyecto se aborda desde una perspectiva integral que pasa por: a) diseño de nuevos monómeros y polímeros, b) modelado molecular de las nuevas estructuras y determinación de volumen libre y rigidez teóricos c) síntesis de nuevos polímeros, d) caracterización de los nuevos materiales y determinación de sus propiedades, e) comparación de las propiedades medidas y las calculadas f) selección de los mejores polímeros para la preparación de membranas, g) fabricación y caracterización de las membranas y determinación de sus parámetros de transporte, f) utilización de los datos obtenidos para el diseño de nuevos materiales.

#### *Modelado de la estructura de las cadenas en estado amorfo*

Se pretende llevar a cabo el modelado molecular de todas las estructuras, calculando su densidad, la fracción de volumen libre y su distribución y correlacionando estos parámetros con la permeabilidad experimental.

Además, se desarrollarán estudios de dinámica molecular de las estructuras equilibradas, para proceder a la determinación teórica de la movilidad estructural, estudiar la influencia del tipo de sustituyentes y de su posición en la movilidad de las cadenas y correlacionar los parámetros calculados con las relajaciones sub T<sub>g</sub> obtenidas experimentalmente.

La simulación de cadenas de los polímeros en estado sólido se llevará a cabo utilizando una combinación de mecánica molecular y dinámica molecular. Se usarán campos de fuerzas comerciales, que son los que han dado mejores resultados en los estudios llevados a cabo hasta el momento. Esta parte se llevará a cabo contando con la infraestructura informático de nuestro grupo de trabajo, que consta de: a) Sistema de Cálculo SGI 300, con sistema operativo UNIX y cuatro procesadores, b) Cluster de PCs formado por cuatro nodos, con dos procesadores cada uno, utilizando sistema operativo Linux. La existencia de estos sistemas nos permitirá realizar modelado molecular de una amplia colección de estructuras poliméricas gracias al cual se podrán establecer relaciones fiables entre los resultados obtenidos y los calculados.

El esquema de trabajo en este aspecto se puede resumir en los siguientes puntos:

- 1) Creación de estructuras monoméricas bien optimizadas.
- 2) Construcción de cadenas de polímero por unión de unidades monoméricas. El número de unidades monoméricas dependerá de su tamaño, pero se pretende utilizar un mínimo de 25 unidades, para evitar en lo posible el efecto de los extremos de cadena.
- 3) Construcción de estructuras amorfas a partir de las cadenas de polímero. Se construirán al menos diez estructuras amorfas de cada polímero para obtener valores promedio de los parámetros. En la construcción de las cadenas amorfas se aplicarán condiciones periódicas mediante inserción de las cadenas en cajas cúbicas tridimensionales. Será necesario comenzar con cajas de baja densidad para evitar fenómenos de entrelazamiento de anillos y proceder a sucesivos ciclos de disminución de las dimensiones de la caja y de dinámica molecular para equilibrar el sistema. En los polímeros que se hayan sintetizado previamente se llegará a la densidad determinada experimentalmente, mientras que en los que no se hayan sintetizado se llegará a una densidad razonable en función de datos anteriores y se dejará al sistema que evolucione libremente y adopte la densidad que conduzca a la menor energía. En los sistemas previamente sintetizados se recurrirá también a este método para comparar la densidad experimental con la calculada y de este modo buscar una relación  $d_{\text{exp}} = Kd_{\text{calc}}$  que nos permita utilizar el valor promedio K en sistemas análogos.
- 4) Aplicación de sucesivos ciclos de dinámica molecular y mecánica molecular para obtener estructuras bien equilibradas y con una distribución realista del volumen libre. Este punto es fundamental si se quieren obtener resultados fiables en el análisis posterior de la estructura.

- 5) Determinación del volumen libre y el accesible a diferentes sondas esféricas con distintos tamaños. Determinación de la distribución de volumen libre.
- 6) Determinación de coeficientes de difusión y coeficientes de solubilidad mediante el método del estado de transición activado de Gusev-Sutter: Es necesario recurrir a este tipo de métodos simplificados ya que la determinación de coeficientes de difusión por dinámica molecular solo es posible en polímeros de alta movilidad. En sistemas muy rígidos, como los que estamos estudiando, las dinámicas deberían ser extraordinariamente largas para alcanzar el estado estacionario, lo que está fuera de la capacidad de los sistemas actuales de cálculo. Aunque los valores que se obtienen por estos métodos todavía no coinciden exactamente con los valores reales, sí pueden utilizarse muy satisfactoriamente para la comparación de estructuras.
- 7) Dinámica molecular de las estructuras equilibradas para determinar los enlaces más móviles de las diferentes estructuras y conocer la influencia de los diferentes tipos de sustituyentes en esta movilidad.

#### *Síntesis de nuevos monómeros y polímeros y preparación de membranas*

Se pretende sintetizar una serie de poliimidas, mediante una combinación del dianhidrido comercial 6F y diferentes diaminas, mediante el sistema clásico de polimerización en dos pasos. Los monómeros que se pretende utilizar se muestran en la Figura 2.

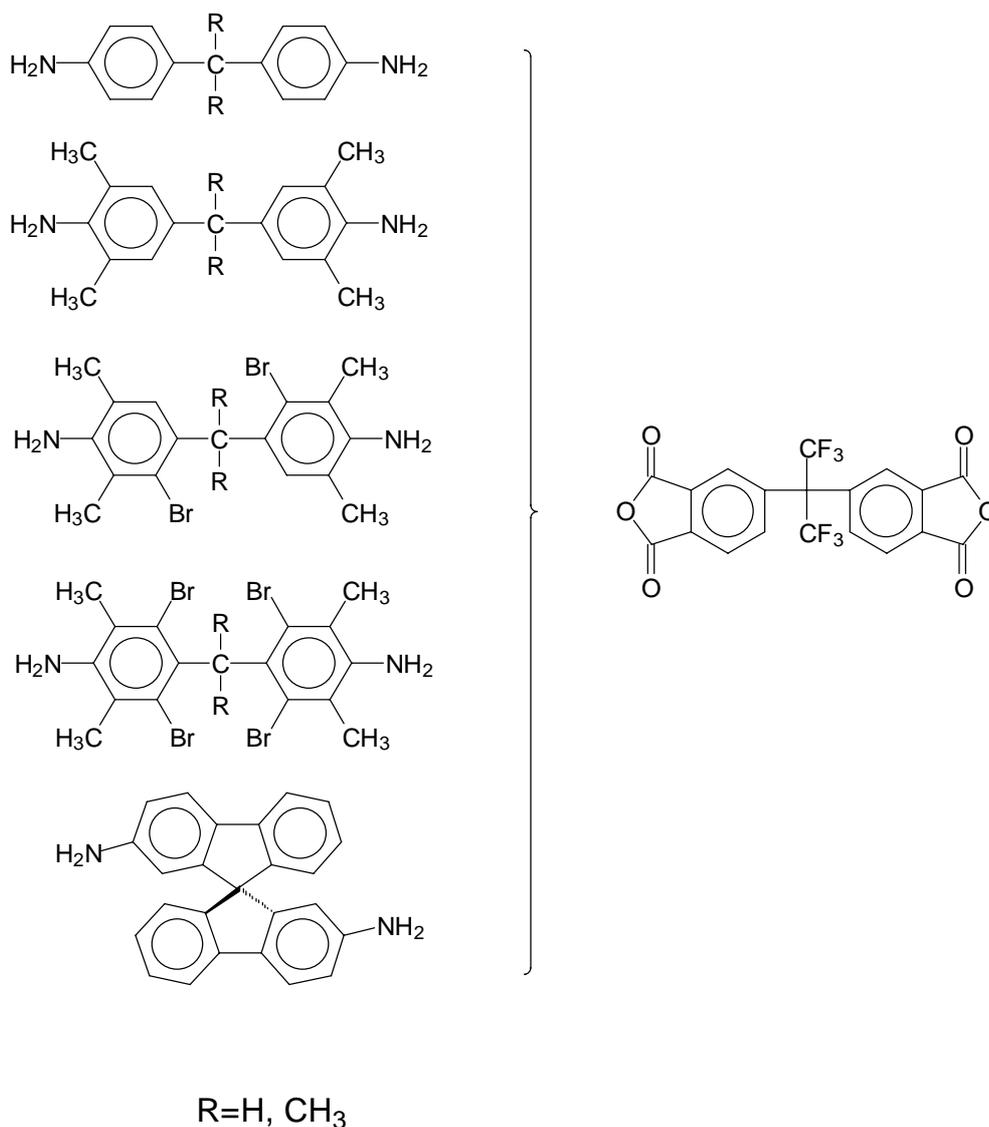


Figura 2: Estructura de los monómeros previstos para la síntesis de poliimidas con alto volumen libre y alta rigidez.

Los primeros ensayos se realizarán con las diaminas comerciales que poseen un grupo metileno en el puente que une los dos anillos aromáticos (R=H) que se tomarán como modelos. La bromación de esas diaminas comerciales se realizará mediante reacciones clásicas de química orgánica. Estas bromaciones aumentarán, presumiblemente, la rigidez de la cadena macromolecular, y por tanto deberían conducir a materiales con buenas selectividades. Tras la caracterización de esas propiedades se realizará la síntesis de las diaminas que poseen un grupo isopropilideno en el puente (R=CH<sub>3</sub>). Se espera que estos monómeros con grupos isopropilideno den sistemas con mayores permeabilidades y buenas selectividades. La síntesis de otras diaminas con metilos *orto* al grupo amino se ha realizado de manera intensa en nuestro laboratorio en

los últimos años, y nuestro grupo posee una amplia experiencia para garantizar el éxito en la obtención de estos compuestos diamina. Además, los halógenos presentes en la estructura permitirán su funcionalización de manera sencilla, pudiéndose obtener sistemas con grupos voluminosos, preferentemente trimetilsililo y fenilos sustituidos, sin excesivo gasto sintético.

Es fundamental en este trabajo que se consigan poliimidas solubles, que den lugar a membranas a partir de disoluciones del polímero. En caso de que no se consiga solubilizar las poliimidas, será necesario obtener disoluciones del intermedio de ácido poliámico, mucho más solubles, y proceder a la evaporación del disolvente simultáneamente con la ciclación térmica a poliimida. No obstante, se debe señalar que este método suele dar FFVs ligeramente inferiores a las obtenidas mediante el método de ciclación química.

Los pasos a seguir en este apartado serán:

- 1) Puesta a punta de la síntesis de las diaminas, con optimización de los rendimientos obtenidos en las diferentes fases.
- 2) Polimerización del dianhidrido comercial con las nuevas diaminas para obtener nuevas poliimidas.
- 3) Preparación de membranas densas para separación de gases mediante evaporación de disoluciones de los polímeros en los disolventes adecuados. Debido a la baja solubilidad de los polímeros de altas prestaciones será necesario recurrir a disolventes apróticos polares, con el inconveniente añadido de su alto punto de ebullición. Por ello, es imprescindible un control riguroso de la cantidad de disolvente residual, que afecta significativamente a las propiedades de las membranas. Sin embargo, este problema debiera ser menor gracias a la utilización del anhídrido 6F que suele dar poliimidas más solubles que cuando se utilizan otros dianhídridos. Así, algunas poliimidas derivadas de 6F son capaces de disolverse en disolventes orgánicos muy comunes como tetrahidrofurano, cloroformo, y aún acetona.
- 4) Determinación de densidades experimentales y de propiedades térmicas y mecánicas. Caracterización por métodos dinamomecánicos y dieléctricos de las relajaciones sub T<sub>g</sub> y correlación con los datos de volumen libre y movilidad molecular obtenidos por métodos de cálculo.
- 4) Determinación de las propiedades de las membranas (permeabilidad, selectividad, coeficiente de difusión y coeficiente de solubilidad). Para ello se utilizará un método barométrico (se dispone en la actualidad de dos módulos de medida diseñados y

construidos por nuestro equipo) frente a gases puros, en especial He, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Está previsto también ensayar hidrocarburos de mayor peso molecular y sus olefinas equivalentes con las membranas de mejores propiedades.

### **Resumen**

Como recapitulación de todo lo expuesto en esta memoria, queremos comentar que el presente proyecto está dirigido a la obtención de nuevos polímeros para la fabricación de membranas más selectivas y permeables para separación de gases, y que se pretende que la selección de estos polímeros supere el método habitual de ensayo y error que se ha venido utilizando por diferentes grupos en todo el mundo. Aunque la determinación del volumen libre por métodos de modelado molecular ya se ha utilizado por unos pocos grupos, no se han hecho intentos de determinar la rigidez de las cadenas de polímero por estas técnicas y tampoco se han intentado correlacionar las relajaciones sub T<sub>g</sub> con la selectividad. Por ello, se han elegido monómeros con sustituyentes de diferentes tipos y estructuras, situados en diferentes lugares de la cadena, lo que dará lugar a diferentes posibilidades de restricción de la movilidad.

La composición de nuestro grupo de investigación y la complementariedad en sus capacidades nos permite desarrollar el trabajo de una forma integral, desde el diseño de las estructuras, la síntesis de los monómeros y los polímeros y su caracterización, la determinación de sus propiedades y su cálculo teórico y el establecimiento de correlaciones entre estructura molecular y propiedades de las membranas, que nos permitan validar las aproximaciones propuestas.

Nuestra colaboración con grupos externos permitirá preparar fibras huecas de los polímeros más adecuados y ensamblarlas en módulos de permeación de pequeño tamaño para su evaluación preliminar con vistas a una aplicación industrial.

### **Referencias**

1. B. Sedláček, J. Kahovec, eds. *Synthetic Polymeric Membranes*, de Gruyter, Berlin (1987)
2. M. Mulder, *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Acad. Pub. London (1991)
3. K. Scott, *Handbook of Industrial Membranes*, Elsevier, Oxford (1995)
4. S. P. Nunes, K.-V. Peinemann, *Membrane Technology*, Wiley-VCH, Weinheim (2001)

5. N. Toshima, *Polymers for Gas Separation*, VCH Pub. New York (1992)
6. Y. Yampolskii, S. Shishatskii, A. Alentiev, K. Loza, *Correlations with and prediction of activation energies of gas permeation and diffusion in glassy polymers*, *J. Membrane Sci.* **148**, 59 (1998)
7. B. D. Freeman, I. Pinau, eds. *Polymer membranes for Gas and Vapor Separation*, ACS Symposium Series **733**, Washington 1999
8. W. Koros, R. Majan, *Pushing the limits on possibilities for large scale gas separation*, *J. Membranes Sci.* **175**, 181 (2000)
9. A. Singh, K. Ghosal, B. D. Freeman, A. E. Lozano, J. G. de la Campa, J. de Abajo, *Gas separation properties of pendent phenyl substituted aromatic polyamides containing sulfone and hexafluoroisopropylidene groups*, *Polymer* **40**, 5715 (1999)
10. D. Ayala, A. E. Lozano, J. de Abajo, J. G. de la Campa, K.-V. Peinneman, B. D. Freeman, R. Prabhakar, *Gas separation properties of aromatic polyimides*, *J. Membrane Sci.* **215**, 61-73 (2003)
11. J. de Abajo, J. G. de la Campa, A. E. Lozano, J. Espeso, C. García, *Designing aromatic polyamides and polyimides for gas separation membranes*. *Macromol. Symp.* **199**, 293-305 (2003)
12. Y. Yampolski, S. Shishatski, A. Alentiev, K. Loza, *Correlation with and Prediction of Activation Energies of Gas Permeation and Diffusion in Glassy Polymers*, *J. Membrane Sci.* **148**, 59 (1998)
13. D. Hofmann, L. Fritz, J. Ulbrich, C. Shepers, M. Böhning, *Detailed atomistic molecular modelling of small molecule diffusion and solution processes in polymeric membranes materials*, *Macromol. Theory Simul.* **9**, 293 (2000)

Actividades/Tareas	1° trimestre	2° trimestre	3° trimestre	4° trimestre
Síntesis y caracterización de monómeros	XXXXXX	XXXXXX		
Síntesis de nuevos polímeros	XXXXXX	XXXXXX	XXX	
Caracterización de monómeros y polímeros	XXX	XXXXXX	XXXXXX	
Cálculos teóricos y predicción de estructura de los polímeros. Predicción de propiedades de las membranas a partir de estos cálculos	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	
Caracterización de polímeros	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	
Determinación de propiedades dinamomecánicas y dieléctricas para caracterización de relajaciones sub Tg			XXXXXX	XXXXXX
Estudios de permeabilidad y selectividad en separación de gases.			XXXXXX	XXXXXX
Validación de los métodos de modelado para la predicción del comportamiento de las membranas				XXXXXX
Recopilación de resultados y difusión			XXXXXX	XXXXXX

## ***Participantes***

Angel Emilio Lozano López. Científico Titular. Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (C.S.I.C.) , Madrid

José González de la Campa. Profesor de Investigación. Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (C.S.I.C.) , Madrid

Eva Maya Hernández, Contratado Ramón y Cajal. Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (C.S.I.C.), Madrid

Cristina Álvarez Santos, Contratado Ramón y Cajal. E. T. S. Ingenieros Industriales, Madrid