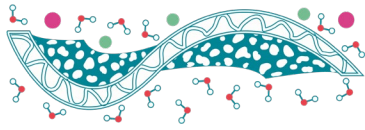


**MEMORIAS DEL CONGRESO DE LA  
SOCIEDAD MEXICANA DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS**

# **VIII CONGRESO NACIONAL**





### Comité Directivo

Dr. Jesús Salvador Jaime Ferrer, *Presidente*  
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, CIATEC.

Dra. Beatriz Torrestiana Sánchez, *Vicepresidenta*  
Instituto Tecnológico de Veracruz, ITV.

Dra. Jennifer Alexis Bañuelos Díaz, *Tesorera*  
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, CIATEC.

Dra. Mayra Polett Gurrola, *Secretaria de Eventos*  
CONACYT – Tecnológico Nacional de México, I.T. Chetumal

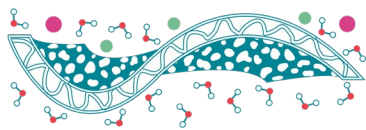
Dr. Gustavo Adolfo Fimbres Weihs, *Secretario de Difusión*  
CONACYT – Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON

### Comité Científico

- Dr. Martín Piña Soberanis, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Dra. Alejandra Martín Domínguez, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Dr. Julio César Cruz Argüello, Instituto Tecnológico Nacional / Instituto Tecnológico de Chetumal
- Dra. Rosa María Gómez Espinosa, Centro Conjunto de Investigación Química Sustentable, UAEM-UNAM
- Dra. Janet Ledesma García, Universidad Autónoma de Querétaro
- Dra. Alejandra Álvarez López, Universidad Autónoma de Querétaro
- Dr. Sergio Miguel Durón Torres, Universidad Autónoma de Zacatecas
- A/Prof. Walter Betancourt, The University of Arizona
- Dra. Bianca Miguel De Souza Chaves, The University of Arizona
- Dra. Liliana Villafaña López, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, CIATEC
- Dr. Marco Antonio Chávez Rojo, Universidad Autónoma de Chihuahua
- Dra. Ma. de Lourdes Ballinas Casarrubias, Universidad Autónoma de Chihuahua

El VIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Membranas fue auspiciado por las siguientes Instituciones:

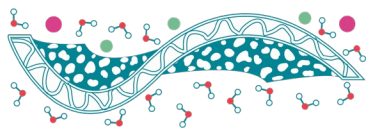




## Programa

Jueves, 20 de junio de 2019

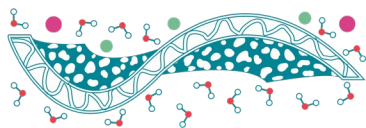
8:00	Registro
9:00	Inauguración
9:10	<b>Obtención de polímeros de alta viscosidad para elevar la productividad de pozos petroleros</b> <i>J.F. Palomeque Santiago, A. Vega Paz, N. Likhanova</i>
9:30	<b>Fabricación y propiedades de permeación de CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> en membranas cerámico-carbonatos fundidos</b> <i>R. Ortega Lugo, J. A. Fabián Anguiano, C. Gómez Yáñez, B.H. Zeifert, J. Ortiz Landeros</i>
9:50	<b>Reactores de membranas inorgánicas para la separación selectiva de CO<sub>2</sub> y oxi-reformado de metano en la producción de hidrógeno</b> <i>J.A. Fabián-Anguiano, J. Ortiz-Landeros</i>
10:10	<b>Conferencia Plenaria</b> <b>Membranas poliméricas para separación de gases: Esfuerzos para desarrollarlas con atractivas propiedades de perm-selectividad y resistencia al envejecimiento físico</b> <i>Dr. Alberto Ruiz Treviño</i> <i>Universidad Iberoamericana</i>
11:00	Café
11:20	<b>Desarrollo y aplicación de membranas de nanofibras de acetato de celulosa preparadas por electrohilado para la retención de micropartículas suspendidas en el agua</b> <i>A.M. Ramírez Alba, E.Y. Gómez-Pachón</i>
11:40	<b>Evaluación de un sistema móvil de potabilización basado en el proceso de ultrafiltración</b> <i>C.D. Silva Luna, I.E. Villegas Mendoza, J.A. Bañuelos Díaz</i>
12:00	<b>Estudio del proceso de destilación por membrana por contacto directo empleando membranas de polipropileno</b> <i>I.D. Luna Santander, R.M. Gómez, B. Torrestiana Sanchez</i>
12:20	<b>Diseño conceptual de una planta potabilizadora a partir de resultados de pruebas de tratabilidad empleando membranas</b> <i>M. Piña Soberanis, I.E. Villegas Mendoza, J.A. Bañuelos Díaz</i>
12:40	<b>Tratamiento de aguas residuales con presencia de compuestos farmacéuticos mediante un reactor biológico con membrana sumergida</b> <i>I. Quiñones Rodríguez, P. Mijaylova Nacheva</i>
13:00	Comida



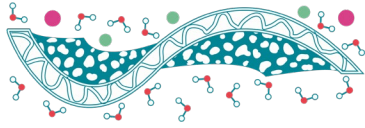
14:20	<b>Síntesis y modificación química de polímeros high-tech para su aplicación como membranas de intercambio aniónico en sistemas electroquímicos</b> <i>R.M. Rodríguez Carballo, J. Romero López, L.I. Olvera Garza</i>
14:40	<b>Membranas de intercambio aniónico para celdas de combustible alcalina</b> <i>L.J. Salazar-Gastélum, B.Y. García-Limón, S.W. Lin, R.M. Félix-Navarro, M.I. Salazar-Gastélum, T. Romero-Castañón, S. Pérez-Sicairos</i>
15:00	<b>Desarrollo de celdas de combustible de membranas de intercambio aniónico</b> <i>T. Romero Castañón, J.R. Flores Hernández, I.L. Albarrán Sánchez y E.M. Palacios Lozano</i>
15:20	<b>Desarrollo de baterías metal-aire basadas en Zn altamente orientado y ácido poliacrílico parcialmente entrecruzado con potasio como electrolito polimérico gelificado</b> <i>A.L. Díaz-Patiño, L.I. Olvera, G. Trejo, L. Álvarez-Contreras, M. Guerra-Balcáza, J. Ledesma-García, L.G. Arriaga, N. Arjona</i>
15:40	<b>Síntesis de membranas de PVDF/ (SPEES/PES)/Nafion NR50® para dispositivos de conversión de energía</b> <i>B. Y. García-Limón, L. J. Salazar-Gastélum, S. Pérez-Sicairos, M. I. Salazar-Gastélum, S.W. Lin, A. Zizumbo-López</i>
16:00	Café
16:20	Sesión de posters
18:00	Actividad cultural

Viernes 21 de junio de 2019

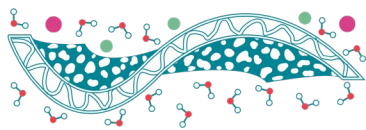
8:00	Registro
9:00	<b>Cinética de hinchamiento del poli(alcohol vinílico)/anhídrido maleico - Estudio comparativo</b> <i>D.A. Salgado Chavarría, J. Palacios Alquisira</i>
9:20	<b>Efecto del envejecimiento físico en las propiedades de transporte de gases en membranas entrecruzadas de Poly (oxiindole bifenilileno) sometidas a vacío</b> <i>J. Ortiz Espinoza, F.A. Ruiz Treviño</i>
9:40	<b>Preparación sustentable de membranas poliméricas con resistencia a solventes orgánicos y altas temperaturas</b> <i>B.A. Pulido, S. Wang, G. Szekeely, S.P. Nunes</i>
10:00	<b>Conferencia Plenaria</b> <b>Nuevos polímeros funcionales para tecnologías avanzadas</b> <i>Dr. Mikhail Zolotukhin</i> <i>Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México</i>
10:50	Café



11:10	<b>Modelamiento y simulación en dinámica de fluidos computacional de un sistema de destilación por membranas de contacto directo para desalinización de agua</b> <i>J.S. Buitrago Ortiz, R.J. Rodríguez de la Vega, J.C. Martínez Alvarado</i>
11:30	<b>Síntesis de membranas de NF dopadas con óxido de grafeno</b> <i>F.J. García-Picazo, S. Pérez-Sicairos, G.A. Fimbres-Weihs</i>
11:50	<b>Síntesis y caracterización de membranas de intercambio iónico por el método de evaporación de solvente para su uso en electrodiálisis inversa</b> <i>D.M. Reyes Valadez, J.S. Jaime Ferrer, L. Villafañá López</i>
12:10	<b>Comparación del efecto anti-bioensuciamiento de FeNPs en membranas de OI en dos sitios: México y Chile</b> <i>M.M. Armendariz-Ontiveros, G.A. Fimbres Weihs</i>
12:30	<b>Flujo limitante observado en ósmosis de presión retardada</b> <i>S.L. Plata, A.E. Childress</i>
13:00	<b>Comida</b>
14:20	<b>Membranas para la regeneración tisular guiada</b> <i>M.V. García-Garduño, L.E. Vargas-Ulloa</i>
14:40	<b>Eficiencia de diálisis en membranas de mezclas poliméricas con impregnación superficial de copolímeros funcionalizados</b> <i>C.C. Xix Rodríguez, V. Martínez Cornejo, A.J. Montes Luna, M.J. Aguilar Vega, M.O. González Díaz</i>
15:00	<b>Fraccionamiento de hidrolizados de proteína de yema de huevo empleando membranas de ultrafiltración</b> <i>A.L. Peñaranda López, E. Brito de la Fuente, B. Torrestiana Sánchez</i>
15:20	<b>Remoción de fármacos reguladores de lípidos utilizando reactores de membrana sumergida</b> <i>T. Gutiérrez Macías, P. Mijaylova Nacheva</i>
15:40	<b>Café</b>
16:00	<b>Premiación y Clausura</b>
17:00	<b>Visita al Laboratorio de Membranas del IMTA</b>
17:30	<b>Asamblea General</b>



# Conferencias Plenarias



## Nuevos polímeros funcionales para tecnologías avanzadas

M. G. Zolotukhin

Instituto de Investigaciones en Materiales, Ciudad de México, México

El informe presenta una visión general de las síntesis de nuevos polímeros basadas en las polimerizaciones por pasos de compuestos carbonílicos con hidrocarburos aromáticos (polihidroalquilaciones) catalizadas por superácidos. Las polimerizaciones son llevadas a cabo en presencia de un superácido de Brønsted [ácido trifluorometanosulfónico ( $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H}$ ), o ácido metanosulfónico], son altamente quimioselectivas y tolerantes a una variedad de grupos funcionales que incluye grupos carbonilo, acetilo, N-oxima, carboxilo, hidroxilo, sulfoácido, metoxilo, amino y bromometilos.

En un enfoque estos grupos funcionales eventualmente se convertirán en sustituyentes en las cadenas poliméricas dando polímeros (copolímeros) de alto peso molecular que contienen varias funcionalidades entre macromoléculas. [1-3]

Además, éstas síntesis de polímeros también demuestran una amplia aplicabilidad e incluyen condiciones de reacción simples, materiales de partida y reactivos fácilmente disponibles (tales como aldehídos, cetonas, dicetonas e hidrocarburos aromáticos) y la generación de un subproducto inofensivo (agua), cumpliendo así el criterio para la química “Click”.

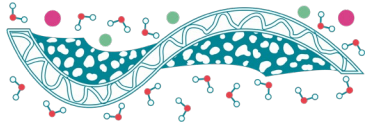
También serán presentados polímeros de varias topologías (incluyendo polímeros 100% ramificados y polímeros escalera fluorados estructurados en 3D) y ejemplos de aplicación de los polímeros multifuncionales obtenidos para tecnologías basadas en membranas.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo económico de CONACYT México (Apoyo N 251693) y de DGAPA-UNAM (PAPIIT IN 203517).

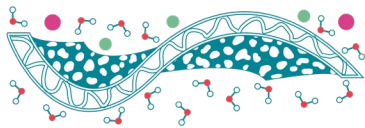
### Referencias

- M. G. Zolotukhin, S. Fomine, R. Salcedo, L. Khalilov. *Chem. Comm.* **2004**, 1030.  
M. G. Zolotukhin, L. Fomina, R. Salcedo, L. E. Sansores, *et al.*, *Macromolecules* **2004**, *37*, 5140.  
A. R. Cruz, M. Carmen G. Hernandez, M. T. Guzmán-Gutiérrez, M. G. Zolotukhin, *et al.*, *Macromolecules*, **2012**, V. 45, 6774.



# Presentaciones Orales





# Obtención de polímeros de alta viscosidad para elevar la productividad de pozos petroleros

J. F. Palomeque Santiago\*, A. Vega Paz, N. Likhanova

Instituto Mexicano del Petróleo

\* E-mail: jpalomeq@imp.mx

**Palabras clave:** Polímeros; permeabilidad; petróleo

## Introducción

Un pozo productor de petróleo puede a su vez producir grandes cantidades de agua, dependiendo de la cercanía de mantos acuíferos, la permeabilidad de la roca o la presencia de fracturas, que dé paso a elevados volúmenes de agua de hasta un 80% de la producción. En formaciones no fracturadas es posible controlar la producción de agua mediante la disminución de su permeabilidad; esto se logra a través de la inyección de polímeros. Un problema asociado al desempeño de los polímeros en los pozos petroleros es que sea estable a elevadas temperaturas y concentraciones de sales. En México existen pozos que tienen condiciones extremas, de hasta 170°C y 400,000 ppm de sales, condiciones que la mayoría de los polímeros no resisten. Adicionalmente el polímero debe generar viscosidades elevadas para que disminuya eficientemente la permeabilidad del agua. Esto se ha logrado con la síntesis de terpolímeros catiónicos y diversas técnicas de entrecruzamiento [1].

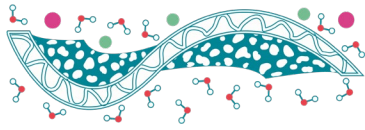
## Materiales y Métodos

Se sintetizaron terpolímeros hidrosolubles mediante polimerización en solución de acrilamida, vinilpirrolidona y vinilbenciltrimetilamonio en un reactor de 3 bocas. Se realizó un entrecruzamiento in-situ con N,N'-Metilenebisacrilamida (MebisAM) al 1.0, 0.5, 0.3, 0.2, 0.1 y 0.005 molar. El polímero obtenido fue purificado y sometido a un entrecruzamiento posterior con un polímero no iónico (PNI) al 0.3, 0.5, 0.7 y 1.0 % a 160°C durante 24 horas utilizando un polímero lineal en salmuera de 250,000 ppm (100,000 NaCl + 150,000 CaCO<sub>3</sub>). Las viscosidades se midieron en un viscosímetro Ostwald y en un reómetro RheoPlus.

## Resultados y Discusiones

La concentración del entrecruzante juega un papel muy importante en la generación de la viscosidad, la cual debe optimizarse con el fin de que los polímeros conserven su hidrosolubilidad sin llegar a formar geles. A concentraciones de 0.5, 0.3, 0.1 y 0.05 molar de MebisAM se obtuvieron geles no solubles, y con concentraciones de 0.01 y 0.005 molar de MebisAM se obtuvieron polímeros solubles, resultados de la Tabla 1.

Siendo que el polímero tiene carácter iónico, se presentan menores valores de viscosidad en una solución de cloruro de sodio 1M debido a que las cadenas poliméricas tienen menor expansión en soluciones salinas, perdiendo parte de su hidrofiliidad [2]. El efecto favorable de utilizar menor concentración de entrecruzante se basa en la generación de menos radicales libres, permitiendo el crecimiento de cadenas poliméricas de mayor tamaño.

**Tabla 1.** Viscosidades, entrecruzamiento in-situ con MebisAM.

MebisAM M	$\eta$ H <sub>2</sub> O cSt	$\eta$ NaCl 1M, cSt
0	21.46	2.66
0.01	37.48	3.48
0.005	39.05	3.42

El polímero sintetizado anteriormente se entrecruzó con PNI a 160°C durante 24 horas en salmuera de 250,000 ppm, condiciones mucho más severas que en NaCl 1M, Tabla 2.

**Tabla 2.** Viscosidades, entrecruzamiento con PNI.

PNI % peso	$\eta$ salmuera cSt	Temperatura °C
0	40	30
0.3	124	30
0.5	168	30
0.5	1660	160

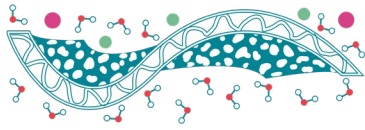
El entrecruzamiento con PNI se activa térmicamente con el fin de obtener una disolución con viscosidad manejable por las bombas de inyección a temperatura ambiente. Una vez que esta disolución se encuentre a una temperatura mayor en el pozo, se activa el entrecruzamiento aumentando su viscosidad y potenciando su actividad [3-5].

## Conclusiones

El diseño de polímeros se realiza para la aplicación específica, cómo y en dónde se requiera. Los polímeros hidrosolubles de acrilamida, vinilpirrolidona y vinilbenciltrimetilamonio fueron diseñados para inyección en pozos de producción petrolera y controlar la permeabilidad del agua; pueden resistir condiciones extremas de temperatura y salinidad. Sin embargo, la manera en que se realiza su manejo para inyección en pozos petroleros marca la formulación que debe llevar. Elevar su viscosidad in-situ se logra mediante un entrecruzamiento activado térmicamente con un polímero no iónico para que su viscosidad se eleve una vez inyectado.

## Referencias

- [1] Moradi-Araghi A. (2000) *A review of thermally stable gels for fluid diversion in petroleum production*, Journal of Petroleum Science and Engineering **26**, 1–10
- [2] Ikegami A., Imai N. (1962). *Precipitation of Polyelectrolytes by Salts*, J. Polym. Sci. **56**, 133-152.
- [3] Jia H., Pu W.-F, Zhao J.-Z., and Jin F.-Y. (2010) *Research on the Gelation Performance of Low Toxic PEI Cross-Linking PHPAM Gel Systems as Water Shutoff Agents in Low Temperature Reservoirs*, Ind. Eng. Chem. Res. **49**, 9618–9624.
- [4] ElKarsani K.S.M., Al-Muntasheri G.A., Sultan A.S., Hussein I.A. (2015) *Performance of PAM/PEI gel system for water shut-off in high temperature reservoirs: Laboratory study*, J. Appl. Polym. Sci., 41869.
- [5] Salgaonkar N., Das P. (2012) *Laboratory evaluation of organically crosslinked polymer for water shutoff in high-temperature well applications*, SPE, 163219.



## Fabricación y propiedades de permeación de CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> en membranas cerámico-carbonatos fundidos

R. Ortega Lugo, J. A. Fabián Anguiano, C. Gómez Yáñez, B. H. Zeifert, J. Ortiz Landeros\*

Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional, UPALM, Av. IPN s/n, CP 07738, Ciudad de México, México.

\* E-mail: jortizla@ipn.mx

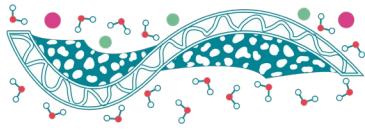
**Palabras clave:** membranas inorgánicas, separación de CO<sub>2</sub>; Separación de O<sub>2</sub>; Membranas cerámico-carbonatos

### Introducción

El control de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, demanda el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan la captura selectiva y eficiente de éste gas contaminante. En este sentido, diversos reportes sugieren el uso de membranas inorgánicas cerámico-carbonato como una opción viable para la separación selectiva de CO<sub>2</sub> a alta temperatura (700-950 °C) [1,2]. En el presente trabajo se fabricaron y evaluaron membranas bifásicas cerámico-carbonato basadas en fases conductoras mixtas (conductores electro-iónicos) fluorita/perovskita y una mezcla ternaria de carbonatos fundidos, para su potencial aplicación en la separación de CO<sub>2</sub> a temperaturas elevadas. Se estudiaron las condiciones de fabricación de los soportes de membrana, así como las características microestructurales y la estabilidad de las membranas fabricadas. Los resultados muestran la obtención de membranas densas libres de defectos microestructurales con excelentes propiedades de permeación y selectividad de CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> a alta temperatura (800-940°C).

### Materiales y Métodos

En una primera etapa, se sintetizaron polvos cerámicos fluorita/perovskita de composición Ce<sub>0.85</sub>Gd<sub>0.1</sub>Cu<sub>0.05</sub>O<sub>2.8</sub>-La<sub>0.6</sub>Ca<sub>0.4</sub>FeO<sub>3</sub> (75:25 % en peso) y Ce<sub>0.9</sub>Pr<sub>0.1</sub>O<sub>2.8</sub>-Pr<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Fe<sub>0.5</sub>Co<sub>0.5</sub>O<sub>3.8</sub> (50:50 % en peso) por el método de combustión de citratos precursores [1,2]. Se usó ácido cítrico anhidro, y nitratos de cationes metálicos correspondientes. La identificación de las fases obtenidas se realizó por difracción de rayos X (DRX) utilizando un difractómetro de polvos Bruker AXS modelo D8 Advance. El estudio de la microestructura y morfología de los polvos cerámicos obtenidos se realizó por la técnica de microscopía electrónica de barrido (MEB) para lo cual se utilizó un microscopio JEOL JSM-6701F. Posteriormente, se fabricaron soportes de membrana porosos y con configuración de disco mediante prensado uniaxial [1,2]. La caracterización de los soportes incluyó el análisis por MEB, la determinación de la fracción en volumen de poros y pruebas de permeación de He en estado no estacionario. Las membranas densas cerámico-carbonato se fabricaron por el método de infiltración directa previamente reportado [1,2]. Finalmente, Para realizar las pruebas de permeación de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, se usó el dispositivo experimental Probostat de NORECS; el cual permite el uso de sellos metálicos con la finalidad de evitar el paso directo de los gases de lado de alimentación al lado del permeado. El gas permeado se analizó mediante cromatografía de gases con el uso de un cromatógrafo de gases marca Shimadzu modelo GC-2014 equipado con una columna Carboxen 1010 PLOT.



## Resultados y Discusión

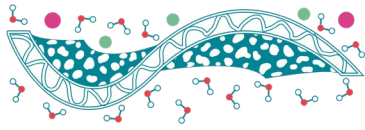
La microestructura de las membranas densas cerámico- carbonato obtenidas por infiltración de los soportes porosos se analizó por la técnica de MEB, la cual revela claramente un contraste entre las fases cerámica y los carbonatos y una distribución homogénea de éstas. La completa infiltración de los carbonatos fundidos se logra gracias a las excelentes características de mojabilidad que presentan las fases cerámicas de fluorita/perovskita en relación a la mezcla ternaria de carbonatos fundidos estudiada ( $\text{Li}_2\text{-K}_2\text{-Na}_2\text{CO}_3$ ). En la medición del ángulo de contacto; se obtuvieron valores de  $\theta$  de 12.2-13.5 °C. En lo que se refiere a las pruebas de permeación a alta temperatura, las membranas con espesores de 1mm presentan flujos de permeación de  $4.46 \times 10^{-7}$  para  $\text{CO}_2$  y  $2.18 \times 10^{-7} \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$  para  $\text{O}_2$  a 940 °C. Obteniéndose; además, altos valores selectividad. El factor de separación es de 150-991 y de 49-511 para  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  y  $\text{O}_2/\text{N}_2$  respectivamente en el intervalo de temperaturas estudiado. Al realizarse pruebas de estabilidad por tiempos de 100 h, se observaron cambios microestructurales en las membranas; no obstante, no se observó un detrimento significativo en las propiedades de permeación.

## Conclusiones

Se obtuvieron soportes de membrana porosos por prensado uniaxial a partir de polvos cerámicos fluorita/perovskita sintetizados por el método de combustión de citratos precursores. Estos materiales son estables en atmósferas ricas en  $\text{CO}_2$  y temperaturas de entre 700-1200 °C. Se lograron preparar membranas bifásicas cerámico-carbonato densas y libres de defectos microestructurales por el método de infiltración directa con carbonatos fundidos. La correcta integración de la fase de carbonatos fundidos en los soportes se atribuye a las excelentes propiedades de mojabilidad de la fase cerámica. Las membranas fabricadas son altamente selectivas, estables bajo las condiciones de operación estudiadas y presentan valores de permeación de  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  considerablemente altos en relación previamente reportados en trabajos de este campo de estudio.

## Referencias

- Ovalle-Encinia O, Pfeiffer H, Ortiz-Landeros J. (2018) *Ce<sub>0.85</sub>Sm<sub>0.15</sub>O<sub>2</sub>-Sm<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Al<sub>0.3</sub>Fe<sub>0.7</sub>O<sub>3</sub> composite for the preparation of dense ceramic-carbonate membranes for CO<sub>2</sub> separation*, *J. Membrane Sci.* **547**, 11-18.
- Ovalle-Encinia O, Pfeiffer H, Ortiz-Landeros J. (2018) *CO<sub>2</sub> Separation Improvement Produced on a Ceramic-Carbonate Dense Membrane Superficially Modified with Au-Pd*, *Ind. Eng. Chem. Res.* **57**, 9261-9268.



## Reactores de membranas inorgánicas para la separación selectiva de CO<sub>2</sub> y oxi-reformado de metano en la producción de hidrógeno.

J. A. Fabián-Anguiano\*, J. Ortiz-Landeros.

Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales, IPN-ESIQIE, UPALM, Zacatenco, C.P. 07738, CDMX, México

\* E-mail: josefabang32@gmail.com

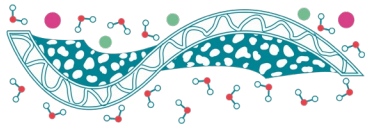
**Palabras clave:** Separación de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>; Membrana cerámico-carbonato; Reactor de membrana; Oxi-reformado de metano.

### Introducción

El consumo excesivo de gas natural y de combustibles fósiles para producir energía primaria ha incrementado fuertemente durante los últimos treinta años [1]. Esto ha representado que grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> sean emitidos hacia la atmósfera terrestre provocando graves consecuencias ambientales [2,3]. La capacidad de separar y convertir gases de efecto invernadero tales como el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> en productos de valor agregado brinda la oportunidad de conservar un ecosistema neutral [4,5]. Entre las diferentes tecnologías que han emergido para tratar de resolver las problemáticas ambientales, una buena alternativa es el proceso de oxi-reformado de metano con CO<sub>2</sub> [6,7]. Este proceso involucra principalmente el uso de dos métodos: Reformado de metano en seco con CO<sub>2</sub> ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{H}_2 + 2\text{CO} \quad \Delta H_{298}^0 = 247 \text{ KJ mol}^{-1}$ ) y la oxidación parcial de metano ( $\text{CH}_4 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{CO} + 2\text{H}_2 \quad \Delta H_{298}^0 = -36 \text{ KJ mol}^{-1}$ ) que proporciona una relación de gas de síntesis adecuada para ser suministrado como materia prima en la síntesis de hidrocarburos a través de procesos químicos tales como Fischer-Tropsch [8]. Actualmente, el desarrollo de reactores de membranas inorgánicas con capacidad de separar de manera selectiva CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> a altas temperaturas, brinda una gran ventaja para ser acoplados a procesos de reformado de metano [9]. En este trabajo, se estudian y se evalúan las propiedades de permeación de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> a altas temperaturas (800-875 °C) de una membrana densa cerámico-carbonato con fórmula general Ce<sub>0.9</sub>Pr<sub>0.1</sub>O<sub>2.8</sub>-Pr<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Fe<sub>0.5</sub>Co<sub>0.5</sub>O<sub>3.8</sub> (CP-PSFC 40:60% en peso), así como el posterior desempeño en procesos de oxi-reformado de metano en seco con CO<sub>2</sub> a través de reactores de membrana con configuración de disco acomodando un catalizador base Níquel (10%Ni/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

### Materiales y Métodos

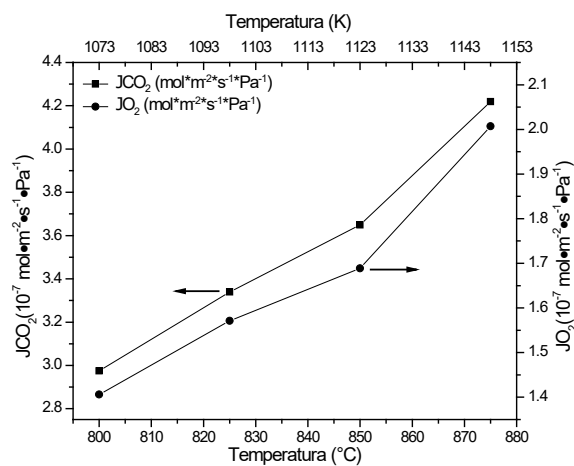
Se sintetizaron polvos cerámicos de carácter electro-iónico con fórmula general Ce<sub>0.9</sub>Pr<sub>0.1</sub>O<sub>2.8</sub>-Pr<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Fe<sub>0.5</sub>Co<sub>0.5</sub>O<sub>3.8</sub> (CP-PSFC) con relación en por ciento peso de 40:60 a través de la ruta de síntesis química CITRATO-EDTA. Aunado a lo anterior, con los polvos se fabricó un soporte poroso en forma de discos a través de prensado uniaxial y mediante una sinterización parcial a 1050 °C. La membrana densa bifásica cerámico-carbonato se obtuvo mediante una infiltración del soporte de manera directa en una mezcla de carbonatos fundidos de Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> con una relación en por ciento mol de 42.5/32.5/25 respectivamente dentro de un horno a 550 °C.



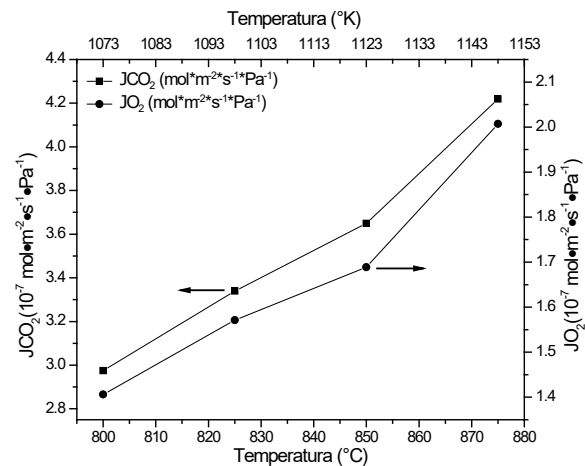
Se realizaron pruebas de permeación de  $\text{CO}_2\text{-O}_2$  a través de la membrana en intervalos de temperatura de 800-875 °C con atmosferas 85% aire/15%  $\text{CO}_2$ . Finalmente se llevó a cabo la reacción de oxi-reformado de metano en seco con  $\text{CO}_2$  alimentando en el sistema 5%  $\text{CH}_4$  y acoplado una cantidad apropiada de catalizador 10%Ni/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  en forma de pellets.

## Resultados y Discusiones

Las propiedades de separación de gases a altas temperaturas con el uso de la membrana densa bifásica cerámico-carbonato son mostradas en la figura 1. Se observa que al evaluar la membrana en función de la temperatura (800-875 °C), los mecanismos involucrados en el material son activados térmicamente promoviendo de esta manera altos flujos de permeación ( $\text{CO}_2+\text{O}_2 = 6.2 \times 10^{-7} \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ) cuando la membrana alcanza una temperatura máxima de 875 °C.



**Figura 1.** Propiedades de separación de  $\text{CO}_2\text{-O}_2$  a través de la membrana cerámico-carbonato en función de la temperatura (800-875°C).

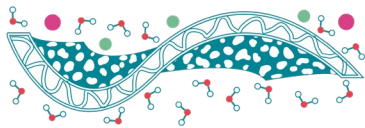


**Figura 2.** Producción de  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  y relación molar del gas de síntesis en función de la temperatura con 5%  $\text{CH}_4$  alimentado en el lado de las especies permeadas ( $\text{CO}_2\text{-O}_2$ ).

Por otra parte, en la figura 2, se observa que cuando se alimenta una concentración de 5%  $\text{CH}_4$  en el lado de las especies permeadas, el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{O}_2$  reaccionan con dicho gas para llevar a cabo la reacción por oxi-reformado de metano en seco, produciendo un incremento en la tasa de producción de  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}$  conforme la temperatura incrementa, alcanzando valores máximos de producción de  $3.5 \text{ mL min}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  y  $2.75 \text{ mL min}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  respectivamente. Aunado a lo anterior, la relación molar de  $\text{H}_2/\text{CO}$  disminuye conforme se modifica la temperatura, obteniendo una relación final de 1.2, demostrando de este modo que los resultados experimentales se encuentran relacionados con los resultados teóricos para el oxi-reformado de metano con  $\text{CO}_2$  [8].

## Conclusiones

Membranas inorgánicas tipo cerámico-carbonato en forma de disco con fórmula general  $\text{Ce}_{0.9}\text{Pr}_{0.1}\text{O}_{2-\delta}\text{-Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$  (CP-PSFC 40:60% en peso) pueden ser fabricadas a través de la



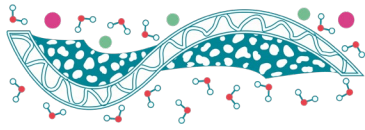
ruta de síntesis química CITRATO-EDTA, prensado uniaxial y mediante una infiltración con carbonatos fundidos de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{K}_2\text{CO}_3$  a  $550^\circ\text{C}$ .

Las propiedades de separación de  $\text{CO}_2$ - $\text{O}_2$  que mostró la membrana cerámico-carbonato a altas temperaturas ( $800$ - $875^\circ\text{C}$ ), involucrá altos flujos de permeación ( $\text{CO}_2+\text{O}_2=6.2\times 10^{-7}\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}\text{ Pa}^{-1}$ ) cuando el material es expuesto a  $875^\circ\text{C}$  dentro del reactor de membrana.

La reacción por oxi- reformado de metano en seco con  $5\%$   $\text{CH}_4$  que se llevó a cabo en el sitio del lado de las especies permeadas por la membrana cerámico-carbonato acoplado un catalizador de  $10\%\text{Ni}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , demuestra que se aseguran altos valores de producción de  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}$  ( $3.5\text{ mL min}^{-1}\text{ cm}^{-2}$  y  $2.75\text{ mL min}^{-1}\text{ cm}^{-2}$  respectivamente) cuando el reactor de membrana alcanza  $875^\circ\text{C}$ .

## Referencias

- [1] International Energy Agency, “ $\text{CO}_2$  emissions from fuel combustion,” *IEA Stat*, p. 14, 2017.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change: Synthesis Report; Chapter Observed Changes and their Causes*. 2014.
- [3] World Meteorological Organization, “WMO Greenhouse Gas Bulletin,” *Weather Clim. water*, **1**, 1–4.
- [4] A. Movasati, S. M. Alavi, and G. Mazloom, “Dry reforming of methane over  $\text{CeO}_2$ - $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$  supported Ni and Ni-Co nano-catalysts,” *Fuel*, **236**, 1254–1262.
- [5] M. Usman, W. M. A. Wan Daud, and H. F. Abbas, “Dry reforming of methane: Influence of process parameters - A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **45**, 710–744.
- [6] K. TAKANABE, “Catalytic conversion of methane: carbon dioxide reforming and oxidative coupling,” *J. Japan Pet. Inst.*, **55**, 1–12.
- [7] C. Zhang, W. Jin, C. Yang, and N. Xu, “Decomposition of  $\text{CO}_2$  coupled with POM in a thin tubular oxygen-permeable membrane reactor,” *Catal. Today*, **148**, 298–302.
- [8] P. Zhang, J. Tong, and K. Huang, “Dry-Oxy Methane Reforming with Mixed e-/ $\text{CO}_3^{2-}$  Conducting Membranes,” *ACS Sustain. Chem. Eng.*, **5**, 5432–5439.
- [9] C. Zhang, W. Jing, C. Yang and N. Xu, “Decomposition of  $\text{CO}_2$  coupled with POM in a thin tubular oxygen-permeable membrane reactor,” *Catal. Today*, **148**, 298–302.



# Desarrollo y aplicación de membranas de nanofibras de acetato de celulosa preparadas por electrohilado para la retención de micropartículas suspendidas en el agua.

**A.M. Ramírez Alba\*, E.Y. Gómez-Pachón.**

Facultad Duitama, Escuela de Diseño Industrial, Grupo de investigación Diseño, innovación y Asistencia Técnica de Materiales Avanzado-DITMAV, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

\*E-mail: andres.ramirez01@uptc.edu.co

**Palabras clave:** Nanofibras; Acetato de celulosa; Filtración; Electrohilado

## Introducción

El acetato de celulosa (AC) es un polímero con amplio espectro de aplicación por ser un material biodegradable que proviene de diferentes partes de las plantas como tallos y hojas. La investigación sobre diferentes tipos de preparación y aplicación de membranas de micro-nanofibras a partir de polímeros naturales se encuentra en auge, debido a la singularidad de las propiedades que estos materiales poseen como su alta resistencia, alta porosidad y alta relación área superficial/volumen debido al tamaño nano y micrométrico de sus fibras que han permitido realizar desarrollos importantes con potencial en aplicaciones (Konwarh et al., 2013).

La preparación de polímeros de origen natural se ha logrado con técnicas como el electrohilado (Jimenez et al., 2017). Las nanofibras de acetato de celulosa han presentado excelentes propiedades, sin embargo, los anteriores estudios se centran en la obtención y caracterización del material (Ochica et al., 2017). Aplicando los avances en estos materiales se pretende dar respuesta a problemas sociales y ambientales como la calidad de agua, que aqueja atención por parte de comunidad científica internacional. Debido a esto se estableció investigar las membranas de nanofibras de AC y se evaluaron algunas de las propiedades funcionales de membranas las cuales mostraron potencial aplicación en filtros de agua.

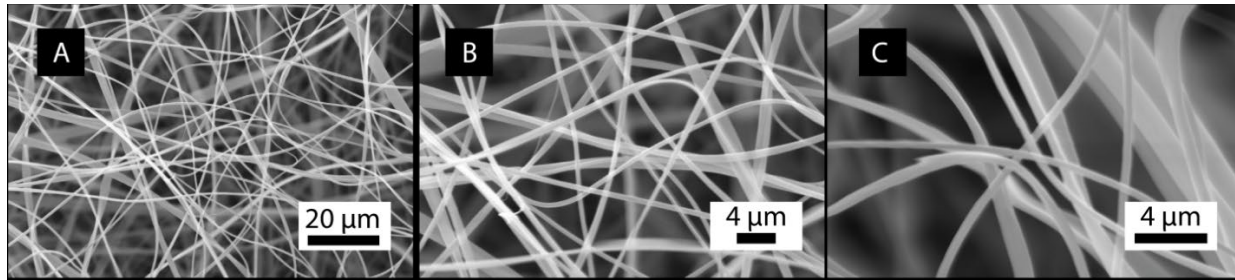
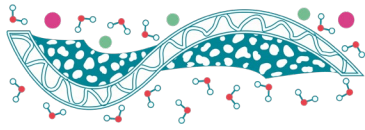
## Materiales y Métodos

En la preparación de la solución se utilizó AC, CA (Sigma-Aldrich, 39.8% acetilo), acetona, Ac (Panreac, 93.5%) y etanol, EtOH (Sigma-Aldrich, 99.8%). La solución de AC al 13% disuelto en acetona y etanol en proporción 2:1 fue aplicada en el equipo de electrohilado de la UPTC, con parámetros de distancia 17 cm y voltaje 19 kV. Se determinó las propiedades morfológicas y metrologías de las fibras por medio de microscopia de barrido electrónico SEM, (ZEISS EVO 10), se midió la porosidad mediante el método de punto de burbujeo por el método ASTM F316 y además se hizo pruebas de fisuramiento (USEPA, 2005).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las micrografías SEM evidencian que las fibras obtenidas presentaron regularidad además no poseen fisuras ni bulbos significativos en su estructura, se encontró que el diámetro promedio de las fibras es de 627.15 nm con una variación estándar +/- 121.3 ver figura 1.





**Figura 1.** Micrografías SEM de membranas con nanofibras de acetato de celulosa a diferentes aumentos a fibra. Muestra 1 a 2000 aumentos (A), Muestra 2 a 5000 aumentos (B), Muestra 3 a 10000 aumentos (C).

En la tabla 1 se encuentran los resultados del ensayo del punto de burbujeo a 5 muestras con su cálculo respectivo de diámetro de poro.

**Tabla 1.** Resultados de porosidad en prueba de punto de burbujeo

Muestra	1	2	3	4	5
Presión	5.5 psi	4 psi	4.5 psi	5 psi	6 psi
Tamaño de poro	5.4 µm	7.5 µm	6.7 µm	6.0 µm	5.0 µm

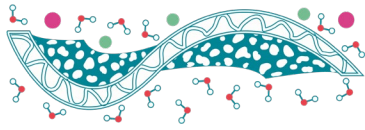
La prueba de fisuramiento determinaron que el caudal máximo que resiste un área de 78.5 mm<sup>2</sup> de la membrana a la inyección es de 10 ml de agua, se realizaron pruebas a 50, 100, 200, 250 y 300 ml/h, encontrando el fisuramiento superficial de la membrana sometida a 300 ml/h.

## Conclusiones

Se determinó los límites de funcionamiento y resistencia que poseen las membranas de AC que indicaron su potencial aplicación para filtros de agua.

## Referencias

- Jiménez, S. R., Lagos, J. V., Gómez-Pachón, E. Y., Perez, Y. T., & Prieto, E. M. (2017). *Development of an Equipment to Prepare Nanofibers for Tissue Engineering Since a Standpoint of the Industrial Design*. In VII Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2016, Bucaramanga, Santander, Colombia, October 26th-28th, 2016 (pp. 365-368). Springer, Singapore.
- Konwarh, R., Karak, N., & Misra, M. (2013). *Electrospun cellulose acetate nanofibers: the present status and gamut of biotechnological applications*. *Biotechnology advances*, 31(4), 421-437.
- Ochica, A. F., Muñoz Prieto, E. D. J., Vera Graziano, R., Gómez Pachón, E. Y., Cerda, A. M., & Rivera Torres, F. (2017). *Obtention of Cellulose Acetate Nanofibers from Sugar Cane Bagasse*. *Ciencia en Desarrollo*, 8(2), 69-77.
- USEPA. (2005). *Membrane filtration guidance manual*. EPA 815-R-06-009.



## Evaluación de un sistema móvil de potabilización basado en el proceso de ultrafiltración

C.D. Silva Luna\*, I.E. Villegas Mendoza, J.A. Bañuelos Díaz

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550

\* E-mail: carlos\_silva@tlaloc.imta.mx

**Palabras clave:** Membranas; Ultra-filtración; Sólidos Suspendidos; Potabilización

### Introducción

La necesidad de contar con sistemas eficientes de potabilización de agua que coadyuven en el tratamiento de fuentes superficiales es apremiante considerando que especialmente en países en desarrollo los cuerpos de agua se ven contaminados cada vez más por actividades antropogénicas. Por lo anterior, los sistemas de potabilización enfocados en comunidades rurales deben estar pensados en privilegiar el ahorro de energía y reducir enfermedades causadas por la ingesta de agua de mala calidad. Los sistemas de membrana para el tratamiento de agua originalmente se usaron únicamente en proyectos de desalinización. Pero las mejoras en la tecnología de membranas los ha convertido en una opción cada vez más popular para la eliminación de microorganismos, particulados y materiales orgánicos naturales que afectan el sabor del agua y enturbian su claridad. La filtración por membranas consiste en una barrera física que consta de una única capa de un material que permite el paso del agua y la potencial retención de material suspendido o disuelto (Hoslett et al., 2018). Específicamente la ultrafiltración (UF) puede filtrar partículas en un intervalo de tamaño de  $0.005 - 0.5 \mu\text{m}$ . Debido a lo anterior, se evaluó un sistema de potabilización que tiene como parte fundamental el proceso de UF con el objetivo de lograr la disminución de la turbiedad de agua de abastecimiento superficial así como la eliminación de microorganismos como bacterias (tamaño  $0.5 - 1.0 \mu\text{m}$ ), virus ( $0.02 - 0.08 \mu\text{m}$ ) y protozoarios ( $3.0 - 15.0 \mu\text{m}$ ) según lo menciona la literatura (Li y Visvanathan, 2017).

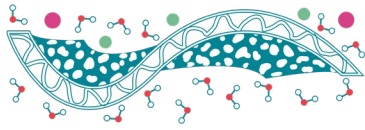
### Materiales y Métodos

El tratamiento del agua cruda se realizó principalmente por filtración dividida en tres etapas: 1. Un filtro de succión que remueve partículas mayores a  $50 \mu\text{m}$ . 2. Membrana de UF que elimina bacterias, protozoarios, virus y quistes. 3. Filtro de carbón activado para minimizar olor, color, sabor y algunos químicos presentes en la fuente de agua.

Para la evaluación se trasladó la planta potabilizadora móvil al río Amacuzac, el cual representa una fuente superficial de agua para comunidades rurales. Se tomaron un total de seis muestras de agua filtrada (efluente) después de que el equipo realizó los retrolavados 1, 2, 3, 4, 5 y 20, y dos muestras del agua del río (influyente) para determinar los siguientes parámetros de calidad del agua: turbiedad, color, coliformes totales y fecales; adicionalmente se determinó el pH, y la conductividad eléctrica.

### Resultados y Discusiones

Se consiguió una eficiencia de remoción elevada (99.7%) respecto a la turbiedad presente en el río Amacuzac. La figura 1 muestra que la turbiedad promedio del influyente fue de 6.35 UNT, el cual es un valor que excede el límite establecido en la actualización del año 2000 de la NOM-127-SSA1-1994



(5 UNT). La turbiedad del efluente después de haber realizado los retrolavados No. 1 y No. 2 fue de 0.05 UNT, mientras que no se detectó turbiedad después de realizar los retrolavados 3, 4, 5 y 20. Además, el agua cruda presentó presencia de coliformes totales y fecales, sin embargo, ya no se detectaron en las muestras de agua tratada. El nivel de color verdadero del influente fue menor al límite establecido en la NOM-127 (20 UPt-Co). El nivel de color en el influente fue de 16.5 y se redujo al pasar por el tratamiento, obteniéndose un valor promedio de  $7.83 \pm 2.69$  UPt-Co. Con respecto al pH y a la conductividad, el pH del influente fue de 8.8 y la conductividad de 26.4 mS/m. No se apreciaron cambios o efectos significativos al realizarse el tratamiento, ya que el equipo no está diseñado para remover iones.

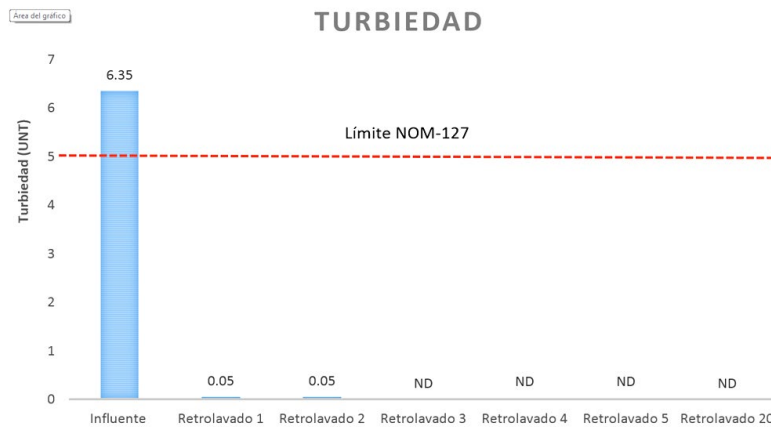


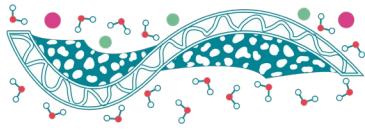
Figura 1. Monitoreo de la turbiedad durante la evaluación en campo.

## Conclusiones

El sistema móvil de UF demostró ser eficiente para potabilizar agua que está contaminada con turbiedad, color, coliformes totales y fecales. Se removió el 99.7% de la turbiedad presente, y fue efectivo para eliminar la presencia de coliformes totales y fecales.

## Referencias

- Hoslett, J., Massara, T. M., Malamis, S., Ahmad, D., van den Boogaert, I., Katsou, E., ... & Jouhara, H. (2018). Surface water filtration using granular media and membranes: A review. *Science of the Total Environment*, 639, 1268-1282.
- Li, L., & Visvanathan, C. (2017). Membrane technology for surface water treatment: advancement from microfiltration to membrane bioreactor. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(4), 737-760.



# Estudio del proceso de destilación por membrana por contacto directo empleando membranas de polipropileno

I.D. Luna Santander<sup>1</sup>, R.M. Gómez<sup>2</sup>, B. Torrestiana Sanchez<sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup> Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, TNM- ITVeracruz. Av. M.A.de Quevedo No. 2779, Col. Formando Hogar, Veracruz, Ver., México

<sup>2</sup> Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM. Facultad de Química UAEM. Carretera Toluca-Atlacomulco km 14.5, C.P. 50200, San Cayetano, Toluca, Estado de México

\*E-mail: ivandarioluna1@hotmail.com; btorrest@itver.edu.mx

**Palabras clave:** DCMD; Desalinización; Destilación por membrana.

## Introducción

La destilación por membranas (DM) es un proceso que ha sido estudiado mundialmente como alternativa para obtener agua de alta pureza a partir de la desalinización de agua de mar. Este proceso se caracteriza por los bajos costos de operación y ahorro de energía, respecto a procesos convencionales como la destilación convencional y la osmosis inversa (El-Bourawi, et al., 2006).

La DM emplea una membrana altamente hidrofóbica micro-porosa que retiene tanto la fase líquida como los compuestos disueltos en una solución acuosa y solo permite el paso de vapor (Eykens, et al., 2016). Estas membranas requieren características específicas respecto a porosidad, tamaño de poro, tortuosidad, presión de intrusión del líquido (LEP), hidrofobicidad y espesor (Lawson & Lloyd, 1997). Los materiales comúnmente utilizados para la fabricación de estas membranas son: polipropileno (PP), polietileno (PE), politetrafluoruroetileno (PTFE) y polifluoruro de vinilidieno (PVDF). (Alkudhiri, et al., 2018).

En la actualidad existen membranas comerciales que pueden ser utilizadas en el proceso de DM, sin embargo, éstas fueron diseñadas para microfiltración y ultrafiltración y la mayoría no cumplen en su totalidad con los requerimientos del proceso limitando el desarrollo del mismo. Debido a esto es necesario continuar con investigación en la fabricación de membranas destinadas a la DM así como en la evaluación de su desempeño en el proceso de destilación por membranas.

En este trabajo se evaluó el efecto de diferentes condiciones de operación (flujos de alimentación y permeado, concentración de sal en la alimentación y gradientes de temperatura) en el flux de permeado de una membrana de polipropileno desarrollada para su aplicación en DM.

## Materiales y Métodos

El sistema empleado en el trabajo experimental se esquematiza en la Fig. 1. Se evaluaron membranas planas de polipropileno (tamaño de poro 0.45 $\mu$ m, espesor 114  $\mu$ m, porosidad 84.6%). Se variaron los flujos de alimentación y de permeado en un rango de 100-300 ml/min, el gradiente de temperatura a través de la membrana (20 – 40 °C) y se analizó el efecto de la concentración de sal en la corriente de alimentación (1.5, 3, 6 y 35 g/l) sobre el desempeño del proceso. Las variables de respuesta fueron el flux de permeado y la conductividad inicial y final en la alimentación y en el permeado.

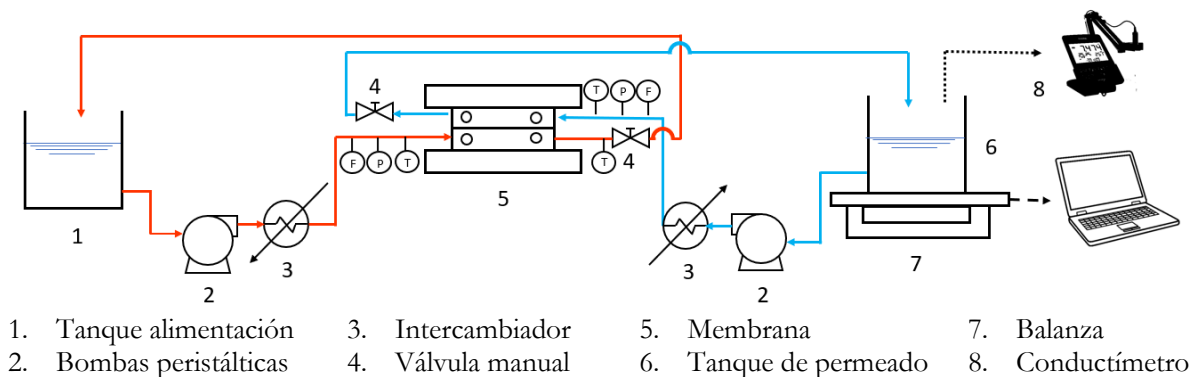
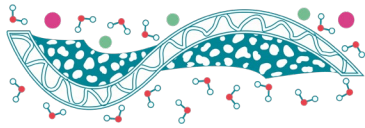


Figura 1. Esquema de modulo empleada para DM

## Resultados y Discusión

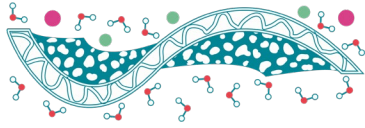
Se establecieron los flujos de alimentación y de permeado para obtener el mejor desempeño del proceso. Se observó que la concentración de sal, no afectó de forma significativa el flux de permeado, en el rango probado. Por otro lado, el aumento en el gradiente de temperatura mejoró el flux en al menos 45% por cada 10 °C. El efecto de la temperatura en el flux se ha reportado en la literatura para distintas membranas (Aljumaily, et al., 2018) (Eleiwi, et al., 2016) (Figoli, et al., 2017) (Wu & Jiang, 2018) (Yazgan-Birgi, et al., 2019). El rendimiento de la membrana evaluada es comparable y en algunos casos, mayor al de membranas reportadas por otros autores (Wu & Jiang, 2018) (Figoli, et al., 2017).

## Conclusiones

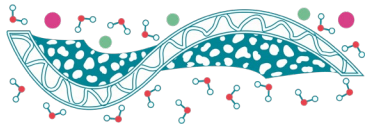
Se establecieron condiciones de operación en el proceso de desalinización de agua empleando destilación por membranas que permitieron obtener un desempeño de hasta 14 kg/m<sup>2</sup> h, usando membranas de polietileno desarrolladas para esta aplicación. El rendimiento del proceso podría ser mejorado induciendo modificaciones en las propiedades de superficie de las membranas.

## Referencias

- Aljumaily, M. M. y otros, (2018). *PVDF-co-HFP/superhydrophobic acetylene-based nanocarbon hybrid membrane for seawater desalination via DCMD*. *Chemical Engineering Research and Design*, 248-259.
- Alkudhiri, A., Darwish, N. & Hilal, N., (2018). *Membrane distillation: A comprehensive review*. *Desalination*, **287**, 2-18.
- El-Bourawi, M., Dig, Z., Ma, R. & Khayet, M., (2006). *A framework for better understanding membrane distillation separation process*. *Journal of membrane science*, **285**(1-2), 4-29.
- Eleiwi, F. y otros, (2016). *Dynamic modeling and experimental validation for direct contact membrane distillation (DCMD) process*. *Desalination*, 1-11.
- Eykens, L. y otros, (2016). *How to optimize the membrane properties for membrane distillation: A review*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 9333-9343.
- Figoli, A. y otros, (2017). *Innovative hydrophobic coating of perfluoropolyether (PFPE) on commercial hydrophilic membranes for DCMD application*. *Journal of Membrane Science*, 192-201.



- Khayet, M. & Matsuura, T., (2011). *Membrane distillation: principles and applications*. Primera ed. Amsterdam: Elsevier.
- Lawson, K. W. & Lloyd, D. R., (1997). *Membrane distillation*. Journal of membrane science, 1-25.
- Wu, P. & Jiang, L. Y. H. B., (2018). *Fabrication of novel PVDF/P(VDF-co-HFP) blend hollow fiber membranes for DCMD*. Journal of Membrane Science, 442-454.
- Yazgan-Birgi, P., Hassan Ali, M. I. & Arafat, H. A., (2019). *Comparative performance assesment of flat sheet and hollow fiber DCMD processes using CFD modeling*. Separation and purification technology, 709-722.



## Diseño conceptual de una planta potabilizadora a partir de resultados de pruebas de tratabilidad empleando membranas.

M. Piña Soberanis\*, I.E. Villegas Mendoza, J.A. Bañuelos Díaz

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550

\* E-mail: mpina@tlaloc.imta.mx

**Palabras clave:** Diseño; Potabilización; Membranas.

### Introducción

En los últimos años, el tratamiento mediante membranas presurizadas se perfila como el más apropiado para potabilizar agua de pozo. Dicho proceso es eficiente para la remoción de sulfatos, dureza total, sólidos disueltos totales, sodio, arsénico, entre otros contaminantes disueltos, dependiendo del nivel de rechazo iónico de las membranas utilizadas y de la presión aplicada en el proceso. A diferencia de la filtración convencional, los procesos de membrana presurizada, específicamente la nanofiltración y la ósmosis inversa, remueven sólidos disueltos, que generalmente se encuentran presentes en los pozos de abastecimiento de nuestro país (Raymond, 1999). Existen distintos procesos de tratamiento que emplean membranas, lo que hace necesario realizar pruebas de tratabilidad con el agua de pozo y determinar la viabilidad técnica y económica del sistema de membranas, para posteriormente en base a los resultados obtenidos poder realizar un diseño conceptual de un sistema de potabilización que sea eficiente (Hoslett et al., 2018).

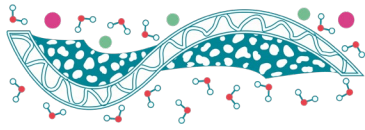
### Materiales y Métodos

En la primera parte del presente estudio, se evaluaron tres tipos de membranas (dos de nanofiltración y una de ósmosis inversa) para potabilizar agua de pozo. El empleo de cualquiera de los tres tipos de membranas evaluadas en el estudio permitió obtener agua potable de conformidad con la modificación del año 2000 a la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo, se encontraron ventajas técnicas y económicas de utilizar membranas de nanofiltración de baja presión y baja capacidad de rechazo de sales (~70 psi y ~40-70% de rechazo de iones monovalentes respectivamente). Otra de las ventajas que se obtuvo al utilizar membranas de nanofiltración de baja presión fue que, a diferencia de las otras dos membranas evaluadas, el agua producto contuvo concentraciones de bicarbonatos, sólidos disueltos, dureza y pH tales que permitieron obtener un agua químicamente estable, sin tendencia a provocar corrosión en el sistema de distribución, ni problemas de salud por la ausencia de iones. Esto evita la necesidad de adicionar sistemas de remineralización, los cuales hacen más complejo el sistema, además de incidir en el costo de operación.

Una vez determinado el tipo de membrana más adecuado, se elaboraron diseños conceptuales para dos alternativas: una planta potabilizadora con capacidad para tratar un caudal de 3L/s y otra con capacidad para tratar 0.16 L/s.

### Resultados y Discusiones

Los resultados de las pruebas de tratabilidad permitieron elaborar el diseño conceptual para dos escenarios, determinando los criterios de diseño. Se determinó que se extraerá un caudal de 3L/s ó



0.16 L/s del pozo, que deberá ser enviado a un filtro rápido empacado con arena sílica/antracita, en el cual se removerá la turbiedad presente hasta obtener un valor  $\leq 1$  UTN y se retendrá el hierro que se encuentra particulado. Posteriormente se adicionará al agua un reactivo antiincrustante e ingresará a un sistema de nanofiltración en dos etapas, el cual contará con un filtro cartucho de 5 micras y una lámpara ultravioleta que protegerán a las membranas de microorganismos y partículas suspendidas. Después, una bomba de alta presión presurizará y enviará el agua a las membranas de nanofiltración, donde ocurrirá un proceso de separación de sales. El permeado (agua producto) de la planta de 3L/s de capacidad de alimentación tendrá un caudal de 2.1 L/s, y se le dosificará hipoclorito de sodio como agente desinfectante antes de ser enviado al sistema de distribución. El rechazo (agua de deshecho) tendrá un caudal de 0.9 L/s, y se podrá disponer en el alcantarillado. (ver diagrama de proceso en figura 1).

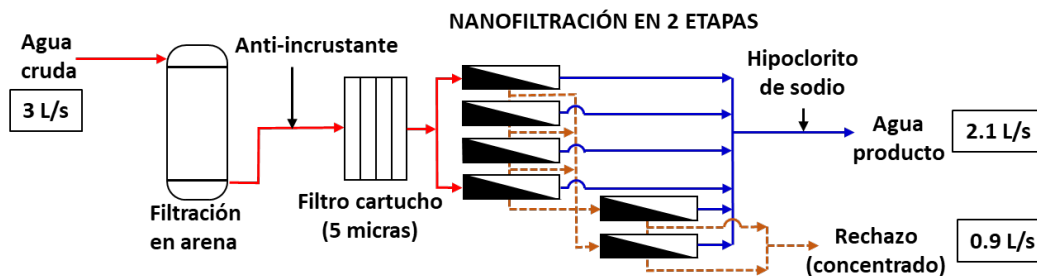


Figura 1. Diagrama de proceso para planta de 3 L/s de capacidad de alimentación.

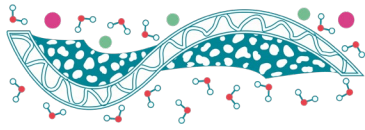
## Conclusiones

La evaluación realizada a diferentes tipos de membranas con diferente capacidad nominal de rechazo de sales permitió determinar que la membrana de nanofiltración de baja presión y moderada remoción de iones monovalentes 40-70% es la más adecuada. Los resultados de este estudio permitieron elaborar el diseño conceptual para dos alternativas: plantas potabilizadoras de 3 L/s y 0.16 L/s de capacidad de alimentación.

## Referencias

- Hoslett, J., Massara, T. M., Malamis, S., Ahmad, D., van den Boogaert, I., Katsou, E., ... & Jouhara, H. (2018). Surface water filtration using granular media and membranes: A review. *Science of the Total Environment*, 639, 1268-1282.
- Raymond D. Letterman (1999). "Water Quality and Treatment." 5th Ed. (New York: American Water Works Association and McGraw-Hill.) ISBN 0-07-001659-3.





# Tratamiento de aguas residuales con presencia de compuestos farmacéuticos mediante un reactor biológico con membrana sumergida

I. Quiñones Rodríguez<sup>1\*</sup>, P. Mijaylova Nacheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>2</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

\*E-mail: italivi.rodriguez@posgrado.imta.edu.mx, ita\_qr@hotmail.com

**Palabras clave:** Ácido mefenámico; Biorreactor con Membrana Sumergida; DQO<sub>soluble</sub>; Fluoxetina; Metoprolol, Reactor Anóxico.

## Introducción

El tratamiento de las aguas residuales mediante procesos biológicos convencionales permite la remoción de materia orgánica y nutrientes, obteniendo efluentes de calidad adecuada que no provocan efectos negativos en los cuerpos receptores y que permite implementar sistemas de reúso del agua. La investigación reciente ha detectado la presencia de contaminantes en pequeñas concentraciones ( $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$  -  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) denominados microcontaminantes (MC) (Pal et al., 2014), éstos incluyen una gran variedad de compuestos químicos (EPA, 2010); los compuestos farmacéuticos y los productos de cuidado personal son los MC más importantes (Alegre Galván, 2008) considerando que son ampliamente usados en la medicina veterinaria y en la salud humana (Daughton, 2004). Estos compuestos pueden causar diversos efectos en los organismos (toxicidad crónica, disrupción endocrina y bioacumulación) (Patiño et al., 2014) y su remoción mediante procesos biológicos convencionales es parcial. Una propuesta para mitigar esta problemática es la aplicación de biorreactores con membranas (BRM), esta tecnología combina un proceso de degradación biológico usando biomasa suspendida, con una separación sólido-líquido a través de un proceso de ultrafiltración. Una característica importante de esta tecnología es que debido a la alta concentración de la biomasa en el reactor se puede trabajar con bajas cargas orgánicas y altos tiempos de retención de la biomasa (Judd, 2010) logrando una remoción de materia orgánica mayor de 90% y ausencia de sólidos suspendidos en el efluente, así como la remoción de compuestos difíciles de degradar (Gil et al., 2012). Otras ventajas de los BRM son la baja producción de lodos y uso de menores espacios para su instalación. El objetivo del presente trabajo fue realizar el tratamiento de aguas residuales con presencia de tres compuestos farmacéuticos: ácido mefenámico (AMF), fluoxetina (FXT) y metoprolol (MTP) mediante un sistema conformado por dos reactores con biomasa suspendida, uno anóxico y un BRM, operados en serie.

## Materiales y Métodos

El sistema experimental (figura 1) estuvo conformado por un reactor anóxico y un BRM con biomasa suspendida operados en serie. El sistema experimental fue alimentado con agua residual de tipo municipal, a la cual se le agregaron los compuestos farmacéuticos en estudio. El agua residual se alimentaba de forma continua al reactor anóxico mediante una bomba peristáltica, posteriormente el licor mezclado fue transferido mediante otra bomba peristáltica al reactor aerobio.

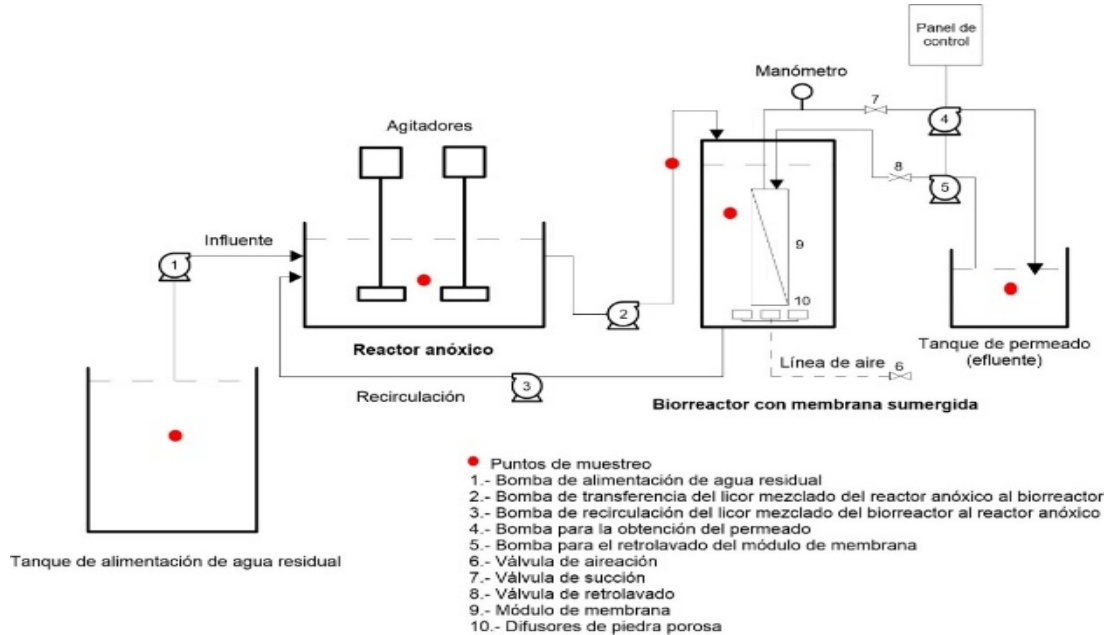
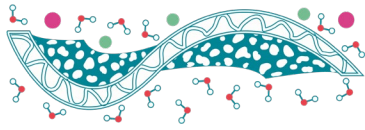


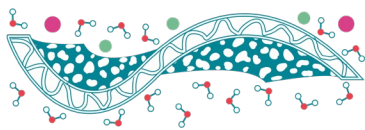
Figura 1. Sistema experimental.

El sistema experimental fue operado por 294 días, siendo evaluadas tres fases de operación como se muestra en la tabla 1. Se realizó el seguimiento de los parámetros de calidad del agua como fueron: Demanda Química de Oxígeno soluble ( $DQO_{\text{soluble}}$ ),  $N-NH_4$ ,  $N-NO_2$ ,  $N-NO_3$ , Nitrógeno Total (NT), éstos se determinaron 2 veces por semana en los siguientes puntos de muestreo: agua del tanque de alimentación (agua residual cruda), efluente del reactor anóxico y efluente del BRM (permeado). En los dos reactores se midieron diariamente: oxígeno disuelto (OD), pH y temperatura (T)). Una vez por semana se determinaban Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Sólidos Suspendedos Volátiles (SSV) en el licor mezclado de los dos reactores.

Tabla 1. Parámetros de operación del sistema.

Fase experimental	Q $L \cdot h^{-1}$	Anóxico		Aerobio		TRS d
		SST $mg \cdot L^{-1}$	TRH h	SST $mg \cdot L^{-1}$	TRH h	
Aclimatación	2.0	2,000	4.9	4,000	8.5	30
Fase 1	2.0	2,000	4.9	4,000	8.5	30
Fase 2	3.3	1,500	3.0	3,000	5.1	20
Fase 3	5.6	1,000	1.6	3,000	2.7	10

Las concentraciones de los compuestos farmacéuticos fueron:  $2 \mu g \cdot L^{-1}$  para FXT y  $5 \mu g \cdot L^{-1}$  para el AMF y MTP. Los compuestos se adquirieron de Sigma-Aldrich y tuvieron un grado de pureza  $>98\%$ , con ellos se prepararon soluciones concentradas, de las cuales se adicionaban cantidades previamente calculadas al agua residual. Para la detección de los compuestos en estudio se utilizó el método de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas para la detección simultánea de los tres compuestos en fase líquida; este método fue desarrollado y validado por Flores y Mijaylova 2015, obteniendo recuperaciones de los compuestos farmacéuticos mayores de 98%. Los límites de cuantificación de los tres compuestos en estudio fueron menores de  $0.017 \mu g L^{-1}$  y los límites de detección menores de  $0.002 \mu g L^{-1}$ .



## Resultados y Discusiones

Las remociones globales de los compuestos farmacéuticos (figura 2) fueron en promedio de: 98.3%, 99.5% y 97.4% para el AMF, FXT y MTP, respectivamente. Se obtuvieron efluentes con concentraciones promedio de AMF, FXT y MTP de  $0.86 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $0.016 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $0.723 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente. La FXT fue el compuesto que presentó la mayor remoción comparado con el resto de los fármacos en estudio, de  $99.96\pm 0.01\%$ .

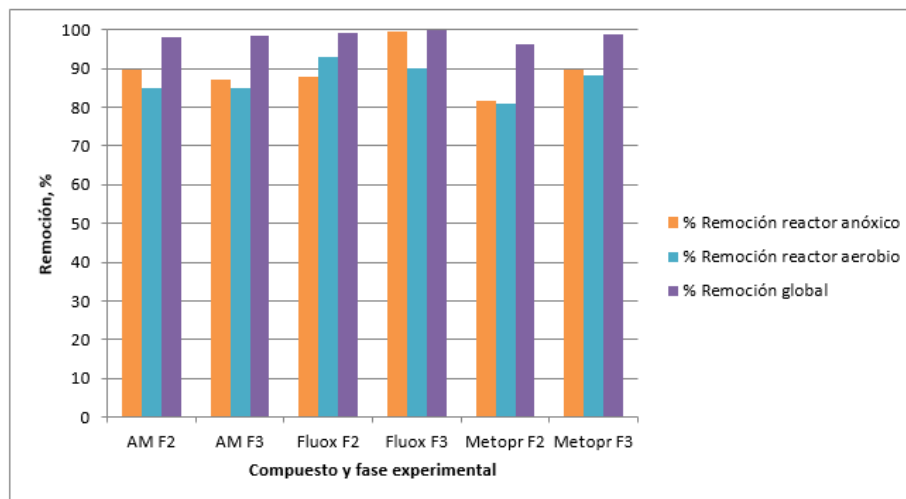
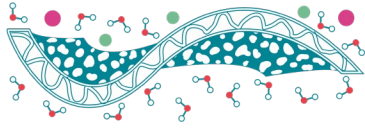


Figura 2. Remociones de los compuestos farmacéuticos obtenidas en las diferentes fases experimentales.

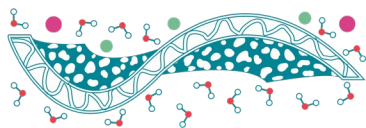
La mayor remoción de  $\text{DQO}_{\text{soluble}}$  y NT se obtuvo en la tercera fase experimental obteniendo remociones promedio de 98.2% y 87.8% respectivamente. Se obtuvieron efluentes con concentraciones de  $\text{N-NH}_4$  y NT menores de 2 y de 6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente, valores de  $\text{DQO}_{\text{soluble}}$  menores de 6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . En el agua residual utilizada para este estudio se encontró presencia de nitratos en pequeñas concentraciones, de  $1.3\pm 0.7 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en promedio durante todo el período experimental. Las concentraciones de los nitritos en los efluentes fueron bajas, valores menores de  $0.30 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  durante todo el período experimental. De acuerdo con los resultados obtenidos los sistemas BRM acoplados a un reactor anóxico tienen un gran potencial en el tratamiento de aguas residuales enfocado a la remoción de contaminantes emergentes como el ácido mefenámico, la fluoxetina y el metoprolol, así como para la remoción de materia orgánica ( $\text{DQO}_{\text{soluble}}$ ) y nitrógeno total, ofreciendo un efluente de alta calidad apto para reúso en servicios al público.

## Referencias

- Alegre Galván E. (2008). *Preparación y caracterización de fases estacionarias para la determinación de contaminantes emergentes quirales mediante cromatografía de líquidos de alta eficacia*. Tesis de licenciatura. Universidad Rey Juan Carlos. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología, pp.1-74.
- Daughton G. Christian (2004). *PPCPs in the Environment: Future Research-Beginning with the End Always in Mind*. Kümmerer. K. (ed.), *Pharmaceuticals in the environment*, pp.463-495, 2nd edition, Springer.
- EPA (2010). *Treating Contaminants of Emerging Concern*. 1-27 pp.



- Flores, Y.; Ramírez, N.; Sánchez, M.; Mijaylova, P.; González, L.A. (2015). *Method Development for the Determination of Fluoxetine, Mefenamic Acid and Metoprolol concentrations in Wastewater and Suspended Biomass*. Proceedings 4th IWA Mexico YWP Conference. Guanajuato, México, 27-29. April 2015.
- Gil, M. J.; Soto, A.M.; Usma, J.I.; Gutiérrez, D.O. (2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. Producción + Limpia, 7(2), pp. 52-73.
- Judd, S. (2010). *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Pal, A.; He, Y.; Jekel, M.; Reinhard, M.; Gin, Y.G.K. (2014). *Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle*. Environment International, 71C, pp. 46-62.
- Patiño, Y.; Díaz, E.; Ordoñez, S. (2014). *Microcontaminantes emergentes en aguas: tipos y sistemas de tratamiento*. Avances en Ciencias e Ingeniería, 5(2); pp. 1-20.



## Síntesis y modificación química de polímeros high-tech para su aplicación como membranas de intercambio aniónico

R.M. Rodríguez Carballo, J. Romero López, L.I. Olvera Garza\*

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Pedro Escobedo, Querétaro, 76703, México

\* E-mail: lovlera@cideteq.mx

**Palabras clave:** Polihidroxialquilación; polielectrolitos sólidos; membranas de intercambio aniónico

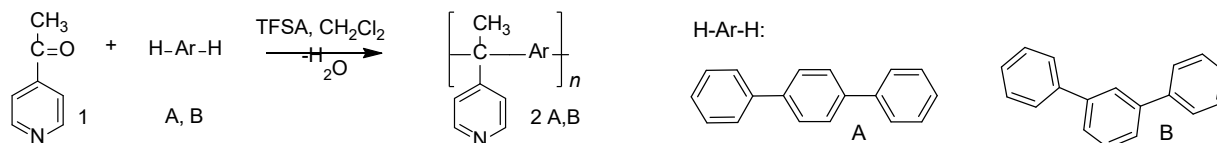
### Introducción

El desarrollo de nuevas reacciones de formación de polímeros sigue siendo un reto prometedor en la química de polímeros. En esta área de la química ha existido un notable avance debido a la extensiva investigación desarrollada por el Dr. G. A. Olah, y su formulación del concepto de superelectrofilicidad. Lo cual ha permitido la obtención de un gran número de polímeros poliaromáticos funcionalizados, introduciendo el concepto de superelectrofilicidad o catálisis súper ácida (Peña, 2004). Los polímeros que contiene unidades de piridina en su estructura presentan propiedades muy interesantes debido a la presencia del heteroátomo que es susceptible de sufrir reacciones de modificación por lo que los convierte en materiales funcionales. Por lo tanto, estamos interesados en desarrollar una polimerización que sea compatible con el heteroátomo y proporcionar un proceso que permita conservar la funcionalidad del nitrógeno en el producto final y su posterior modificación química mediante reacciones de cuaternización obteniendo así, polímeros funcionales y su potencial aplicación como membranas de intercambio aniónico en diferentes sistemas electroquímicos

El alto peso molecular y la gran solubilidad de los materiales propuestos, hace posible la obtención de membranas flexibles y transparentes que son potencialmente utilizables como membranas de intercambio aniónico en diferentes sistemas electroquímicos.

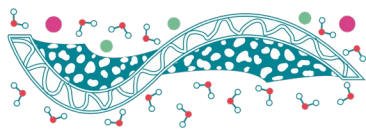
### Materiales y Métodos

Los polímeros basados en 4-acetilpiridina y *para*, *meta* terfenilo se llevaron a cabo mediante la reacción de polihidroxialquilación en medio superácido mediante el siguiente esquema de reacción.



**Figura 1.** Síntesis de polímeros basados en 4-acetilpiridina y diferentes compuestos aromáticos.

Se llevaron a cabo reacciones de cuaternización. La alquilación del anillo heterocíclico permite introducir cargas positivas en la cadena principal que conllevan a un aumento en la conductividad iónica de los poliméricos. Todos los materiales obtenidos se caracterizan mediante espectroscopia FTIR-ATR, RMN H<sup>1</sup> y C<sup>13</sup>. La estabilidad térmica mediante TGA y DSC. La alta solubilidad de los materiales permite la obtención de membranas transparentes y flexibles. Se determinó la conductividad iónica de dichas membranas mediante técnicas de impedancia y voltametría cíclica utilizando una celda tipo H con un arreglo de cuatro electrodos.



## Resultados y Discusiones

Se obtuvieron polímeros de alto peso molecular mediante la reacción de polihidroalquilación en medio súper ácido de 4-acetilpiridina y *para* y *meta* terfenilo.

Las reacciones de modificación se llevaron a cabo a temperatura ambiente colocando un exceso del 20% del reactivo de modificación manteniendo en agitación magnética la mezcla de reacción por seis horas obteniéndose unas fibras de color amarillo claro con un rendimiento del 99%, totalmente soluble en la mayoría de los disolventes orgánicos. Su caracterización se llevó a cabo por medio de RMN y FTIR-ATR confirmando las estructuras esperadas.

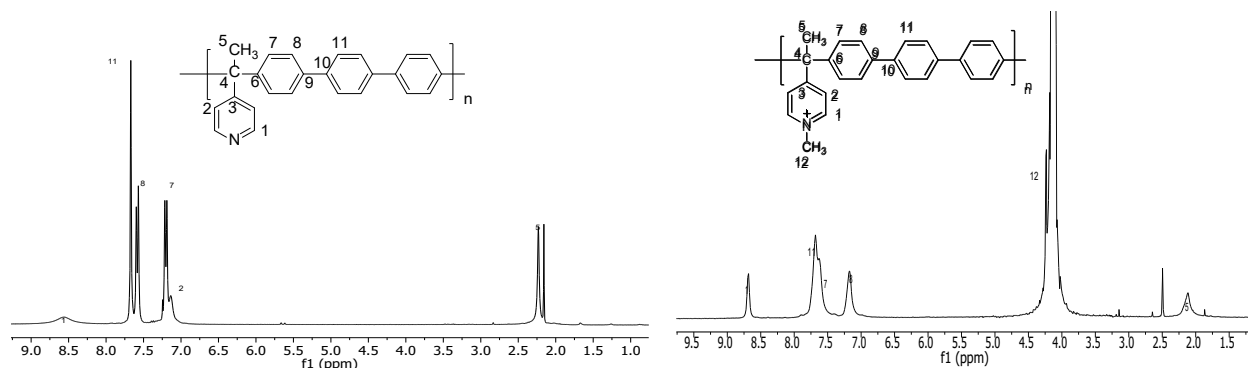


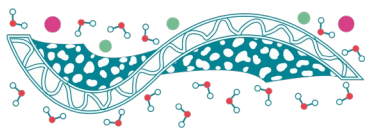
Figura 2. Síntesis de polímeros basados en 4-acetilpiridina y diferentes compuestos aromáticos.

## Conclusiones

Se logró la obtención de polímeros con 4-acetilpiridina y dos isómeros de terfenilo, mediante la reacción de polihidroalquilación en medio súper ácido. Se llevaron a cabo reacciones de cuaternización con diferentes agentes alquilantes, los rendimientos de modificación son por arriba del 90%. Los materiales obtenidos presentan una buena conductividad iónica, por lo cual son materiales con potencial aplicación como membranas de intercambio aniónico en dispositivos electroquímicos.

## Referencias

- Peña M. E. R., Zolotukhin M. G., and Fomine S. (2004). *Factors Enhancing the Reactivity of Carbonyl Compounds for Polycondensations with Aromatic Hydrocarbons. A Computational Study*, *Macromolecules*, **37**, 6227-6235



## Membranas de intercambio aniónico para celdas de combustible alcalina

L.J. Salazar-Gastélum<sup>1</sup>, B.Y. García-Limón<sup>1</sup>, S.W. Lin<sup>1</sup>, R.M. Félix-Navarro<sup>1</sup>, M.I. Salazar-Gastélum<sup>1</sup>,  
T. Romero-Castañón<sup>2</sup>, S. Pérez-Sicairos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tijuana

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, CONACYT

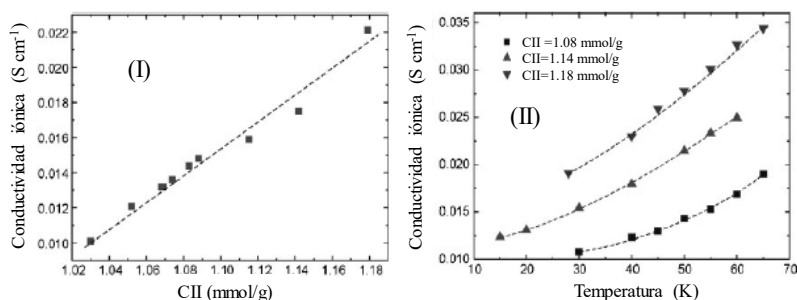
\* E-mail: sperez@tectijuana.mx

**Palabras clave:** Membrana de intercambio aniónico; amina; capacidad intercambio iónico.

### Introducción

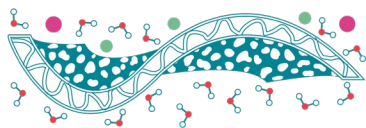
En una celda de combustible alcalina (CCA), en el ánodo se lleva a cabo la reacción de oxidación de hidrógeno, mientras que en el cátodo se realiza la reacción de reducción de oxígeno, a la salida del cátodo se encuentra el exceso de oxígeno que no reaccionó, mientras que en la salida del ánodo, se deshecha agua mezclada con el exceso de hidrógeno. Las CCA han sido desarrolladas y pueden potencialmente mejorar en varios aspectos a las celdas de combustible de intercambio protónico (CCP) tales como: como electrocinética más simple, un cruzamiento de combustible menor así como la reducción de envenenamiento por CO y el uso de electrocatalizadores a base de metales no nobles lo cual repercute en un menor costo del dispositivo al reducir este tipo de electrocatalizadores. (Wang & Zhang, 2013)

Pan *et al.* estudiaron un electrolito polimérico alcalino para celdas de combustible, realizaron una modificación a la estructura de la polisulfona con trimetilamina, primeramente, llevan a cabo el estudio de la capacidad de intercambio iónico (CII). La Figura 1 muestra en (I) el estudio de la conductividad iónica con respecto a la CII, donde se observa que a mayor CII existe una mayor conductividad iónica, para (II) se observa el comportamiento de la conductividad iónica con respecto a la temperatura y de esta última gráfica se puede obtener valores de la energía de activación del ión hidroxilo para este tipo de membranas. (Pan *et al.*, 2010)



**Figura 1.** (I) Gráfica de la capacidad de intercambio iónico con respecto a la conductividad iónica, (II) variación de la conductividad iónica en función de la temperatura.

Para este estudio se busca encontrar nuevas mezclas poliméricas para aumentar la eficiencia de las CCA, aumentando la CII, disminuyendo la resistencia de la membrana. Por lo que se propone el uso de diferentes tipos de amina para funcionar como sitios activos de la membrana.



## Materiales y Métodos

Se realizaron diferentes mezclas con polímeros diversos además de utilizar ionómeros comerciales utilizando como disolvente N-metil-2-pirrolidona, como polímeros se utilizó polifluoruro de vinilideno (PVDF), polietersulfona (PES), polietilenimina (PEI), alcohol polivinílico (PVA) y Fumion®.

Las membranas sintetizadas se llevaron a un 16 % en peso en forma de solución, la formación de la membrana se llevó a cabo con moldeo por cuchilla y mediante inversión de fases se finalizó las síntesis de las membranas. La caracterización de las membranas se llevó a cabo mediante CII, microscopía electrónica de barrido, espectroscopía de infrarrojo, absorción de agua, pruebas de hinchamiento, análisis termogravimétrico y tasa de intercambio aniónico.

## Resultados y Discusiones

Se obtuvieron dos membranas con relación de 0.4 g de polímero encargado del intercambio iónico por cada gramo de PVDF; 0.4 PEI y 0.4 Fumion®, en la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos hasta el momento, donde se puede observar que la membrana comercial tiene mejores características ya que no se ha logrado optimizar los grupos funcionales encargados del intercambio iónico.

**Tabla 1.** Caracterizaciones para las membranas sintetizadas.

Caracterización	0.4 PEI	0.4 Fumion®	Fumion®
Espesor ( $\mu\text{m}$ )	25	35.2	50
Hinchamiento (%)	3.30	8.64	17
Absorción de agua (%)	8.82	20.95	23
CII ( $\text{meq g}^{-1}$ )	.41	0.10	2.02

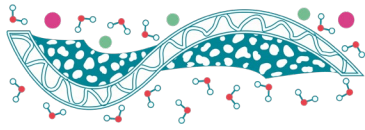
## Conclusiones

Del presente trabajo se concluye que los grupos amino son importante para la migración a través de la membrana, así como del polímero utilizado como esqueleto para la inserción de los grupos funcionales utilizados para este tipo de proceso.

## Referencias

- Pan, J., Lu, S., Li, Y., Huang, A., Zhuang, L., & Lu, J. (2010). *High-Performance alkaline polymer electrolyte for fuel cell applications*. *Advanced Functional Materials*, **20**, 312–319.
- Wang, Y.-J., Qiao, J., Baker, R., & Zhang, J. (2013). *Alkaline polymer electrolyte membranes for fuel cell applications*. *Chemical Society Reviews*, **42**, 5768–5786.





## Desarrollo de Celdas de Combustible de Membranas de Intercambio Aniónico

T. Romero Castañón\*, J. R. Flores Hernández, I. L. Albarrán Sánchez y E. M. Palacios Lozano

Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias

\* E-mail: tromero@ineel.mx

**Palabras clave:** Hidrógeno, almacenamiento de energía

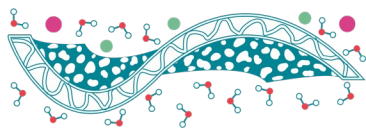
### Introducción

Las celdas de combustible de membrana de intercambio aniónico (AEMFC, en inglés) se proponen como una tecnología disruptiva para generación eléctrica de alta eficiencia, confiable y limpia. Las celdas AEMFCs se distinguen por usar una membrana alcalina como electrólito sólido, en lugar de la tradicional versión de electrólito líquido, lo que permite que sean utilizadas en aplicaciones de alta densidad energética, tan diversas como nivel residencial, industrial y automotriz, ya que la membrana proporciona la ventaja de fácil escalamiento.

Las AEMFCs ofrecen la ventaja de reducir costos de fabricación y de operación ya que el ambiente alcalino permite sustituir el catalizador a base de platino que es el material de mayor costo en las celdas convencionales de combustible tipo PEM. Además, las AEMFCs permiten el uso de una variedad amplia de combustibles que incluye hidrógeno, gas natural e incluso alcoholes como metanol, etanol y etilenglicol. De ahí que el INEEL propuso el proyecto para desarrollo de Celdas de Combustible de Membranas Alcalinas, el cual es parte del proyecto aprobado por el Fondo de Sustentabilidad Energética SENER-CONACYT para el Desarrollo de Tecnología de Almacenamiento de Energía de Bajo Costo (Núm. 292862), con la meta inicial de proponer nuevos materiales: membranas y catalizadores de menor costo para integrar un prototipo de celda AEMFC de 1kW para operarlo en condiciones reales.

El proyecto se desarrollará en consorcio con el Instituto Tecnológico de Tijuana, la Universidad de Guanajuato y el INEEL como líder. Las membranas de intercambio aniónicas tipo PBI, no fluorinadas, serán optimizadas a partir de membranas comerciales marca IONOMR™, que han mostrado estabilidad para operar en celdas de combustible a hidrógeno. Dentro de las propiedades a optimizar están la estabilidad mecánica, transporte de agua y conductividad iónica para lograr alta reproducibilidad en la fabricación de ensambles membrana electrodos, los cuales constituyen el componente crítico donde se generan los sitios de reacción de los sistemas AEMFC.

En esta presentación, se hablará sobre los objetivos del proyecto con un enfoque sobre la optimización de ionómeros aniónicos, tanto membrana como dispersión para la fabricación de la tinta catalítica y los ensambles para las celdas AEMFC.



## Desarrollo de baterías metal–aire basadas en Zn altamente orientado y ácido poliacrílico parcialmente entrecruzado con Potasio como electrolito polimérico gelificado

A. L. Díaz-Patiño<sup>1</sup>, L. I. Olvera<sup>1, 2</sup>, G. Trejo<sup>1</sup>, L. Álvarez-Contreras<sup>3</sup>, M. Guerra-Balcáza<sup>4</sup>, J. Ledesma-García<sup>4</sup>, L.G. Arriaga<sup>1</sup>, N. Arjona<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Pedro Escobedo, Qro. C.P. 76703

<sup>2</sup> Cátedras CONACYT, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Pedro Escobedo, Qro. <sup>3</sup>

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua, Chih., C.P. 31136

<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Queretaro, Qro. C.P. 76010

C.P. 76703

\* E-mail: [wvelazquez@cideteq.mx](mailto:wvelazquez@cideteq.mx)

**Palabras clave:** PAAK, ácido poliacrílico, baterías, Zinc.

### Introducción

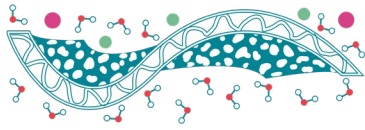
Las baterías metal–aire son consideradas como una alternativa para suministrar la demanda energética de diversas tecnologías (Fan *et al.*, 2019). Sin embargo, existen problemáticas por resolver como: a) crecimiento dendrítico del Zn durante carga y corrosión acelerada durante descarga, b) los materiales existentes requieren altos sobrepotenciales para llevar a cabo las reacciones del oxígeno en el compartimiento catódico y c) baja conductividad iónica del electrolito. Las problemáticas a y c pueden ser abordadas empleando Zn con alto ordenamiento cristalinográfico, y empleando ácido poliacrílico parcialmente entrecruzado con Potasio (PAAK, por sus siglas en inglés) como electrolito polimérico gelificado (GPE). En este trabajo, se evaluó el efecto de la composición del PAAK en las propiedades fisicoquímicas y en el desempeño de una batería Zn–aire.

### Materiales y Métodos

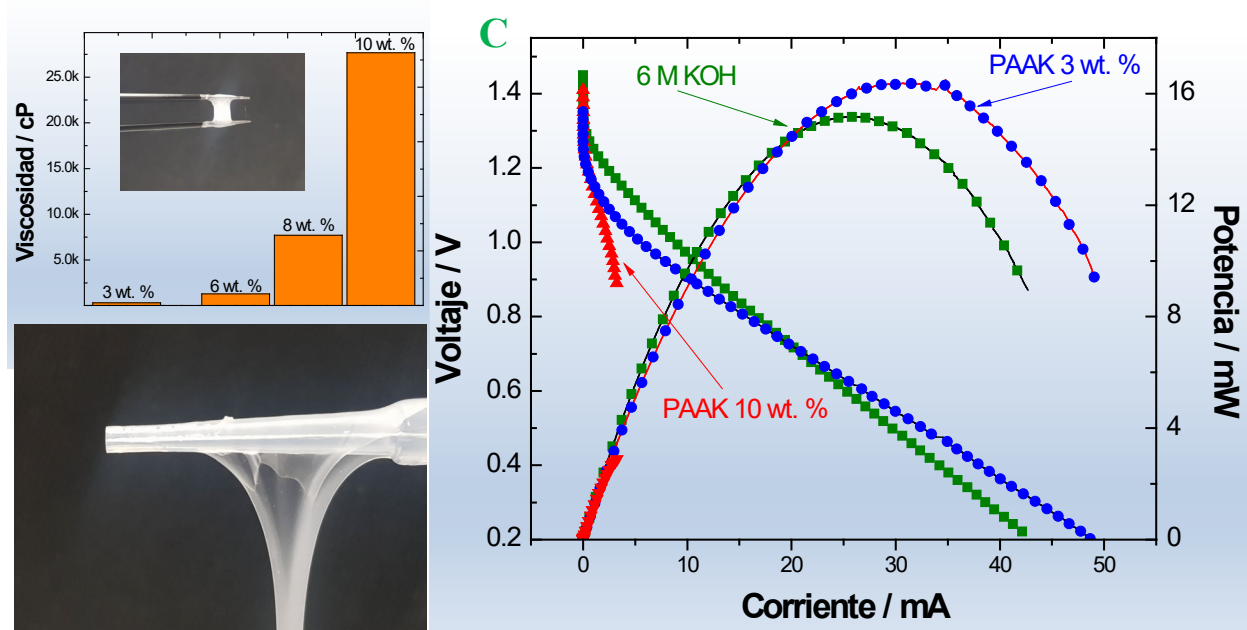
La composición de electrolito alcalino de KOH fue de 6 M; mientras que, las composiciones utilizadas de PAAK fueron de 3, 5, 8 y 10 wt. % (). El electrodo anódico de Zn fue sintetizado por electrodeposición empleando un baño inorgánico que contiene ZnCl y cronopotenciometría por 60 min ( $0.076 \text{ A cm}^{-2}$ ). El electrodo catódico se preparó utilizando Pt/C comercial (ETEK, 20 wt. %) con una carga de  $1 \text{ mg cm}^{-2}$ . Los GPEs fueron caracterizados por microscopía Raman, FTIR, pruebas de viscosidad y conductividad iónica. Mientras que, el efecto de la composición en el desempeño de una batería metal–aire fue estudiado a través de curvas de polarización empleando un potencióstato/Galvanostato Gamry 3000. El electrodo de Zn fue caracterizado por microscopía electrónica de barrido, microscopía Raman, difracción de rayos-X, y espectroscopía de fotoelectrones emitidos por rayos-X.

### Resultados y Discusiones

Por cuestiones de espacio, únicamente se muestran algunas fotografías de un GPE representativo, así como las curvas de polarización de la batería empleando algunos GPEs seleccionados. El incremento de la concentración de PAAK resultó en un incremento significativo de la viscosidad, encontrándose una viscosidad dinámica de 27660 cP a una concentración de 10 wt. %. El incremento de la viscosidad



propicia limitantes por transporte de masa en la batería Zn–aire (Fig. 1c), encontrándose la mayor potencia a una concentración de 3 wt. % (16.3 mW). Asimismo, el uso de un GPE incrementó la potencia en comparación con un electrolito acuoso (6 M KOH).



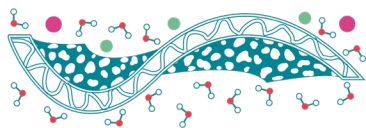
**Figura 1.** A) Efecto de la composición de PAAK en la viscosidad. Inset: fotografía del GPE a 8 wt. % PAAK. B) Fotografía del GPE basado en una composición de 10 wt. % PAAK. C) Curvas de polarización y potencia de una batería Zn–aire.

## Conclusiones

El uso de un electrolito polimérico gelificado basado en ácido poliacrílico parcialmente entrecruzado (PAAK) permitió incrementar la viscosidad dinámica en comparación a una solución acuosa 6 M KOH (<5 cP) sin comprometer el desempeño de una batería Zn–aire, lo cual se atribuyó a la capacidad del gel de retener moléculas de KOH en su red polimérica.

## Referencias

Fan X., Liu J., Song Z., Han X., Deng Y., Zhong C., Hu W. (2019). *Porous nanocomposite gel polymer electrolyte with high ionic conductivity and superior electrolyte retention capability for long-cycle-life flexible zinc–air batteries*, *Nano Energy* **56**, 454–462.



# Cinética de Hinchamiento de Poli(alcohol vinílico) Reticulado con Anhídrido Maleico

D.A. Salgado Chavarría<sup>1</sup>, J. Palacios Alquisira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Físicoquímica Macromolecular, Posgrado Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México  
\* E-mail: dasch\_90@hotmail.com

**Palabras clave:** Cinética; Hinchamiento; Poli(alcohol vinílico); Anhídrido Maleico; Procesos de Separación.

## Introducción

La implementación de nuevas tecnologías para disminuir el consumo energético ha llevado a considerar el uso de membranas como elementos útiles para la purificación de mezclas. La separación de líquidos por medio de membranas, resulta ser una alternativa útil debido a que presenta ventajas como alta selectividad, diseño reducido, costos más bajos y menor consumo energético.

La pervaporación (PV) es un proceso de separación por medio de membranas que resulta útil cuando hay mezclas líquidas de compuestos que forman azeótropos, caso del etanol con agua, que presentan puntos cercanos de ebullición o que son sensibles al calor (Chapman, Li, Livingstone, & Oliveira, 2008).

El poli(alcohol vinílico) (PVAL) reticulado se ha utilizado para preparar membranas de separación y se han probado diversos tipos de agentes reticulantes (Bolto, 2009).

En el laboratorio de Físicoquímica Macromolecular de la Facultad de Química de la UNAM se han estudiado diversos agentes reticulantes, encontrando hasta el momento, que las membranas de PVAL reticuladas con ácido tereftálico (TAc) presentan un bajo porcentaje de hinchamiento.

En este trabajo, se pretende comparar la cinética de hinchamiento en agua del poli(alcohol vinílico) reticulado con anhídrido maleico contra el mismo polímero reticulado con ácido tereftálico.

### *Objetivo General*

Comparar la cinética de hinchamiento de membranas reticuladas de poli(alcohol vinílico) (PVAL) /anhídrido maleico (MA), poli(alcohol vinílico) (PVAL) /ácido tereftálico (TAc).

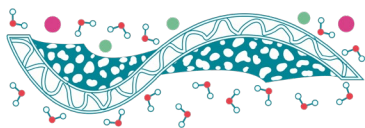
### *Objetivos Específicos*

Observar la influencia de la concentración del agente reticulante y el tiempo de reacción en las pruebas de hinchamiento.

Obtener la cinética de hinchamiento, calcular las constantes cinéticas, el grado, y se probará el modelo de Schott Hans.

## Materiales y Métodos

- PVAL ( $M_w$  89,000 – 98,000), con un grado de hidrólisis de 99+% - Aldrich Chemistry
- Anhídrido maleico 99% - Sigma Aldrich



- Ácido tereftálico 98% - Sigma Aldrich
- Agua desionizada
- Ácido sulfúrico concentrado

## Resultados y Discusiones

En la Figura 1 se presentan los resultados obtenidos al realizar las pruebas de hinchamiento de las membranas reticuladas de poli(alcohol vinílico) en agua desionizada a la temperatura ambiente.

El mayor incremento en el porcentaje de hinchamiento se presenta al inicio, donde se puede ver que el PVAI/ácido tereftálico se hincha hasta 2.4 veces más que el PVAI/anhídrido maleico. El valor de porcentaje de hinchamiento al equilibrio en el sistema PVAI/ácido tereftálico se obtuvo en un tiempo corto de 7 minutos, mientras que para el sistema PVAI/anhídrido maleico el mismo valor se obtuvo después de 20 minutos de inmersión en agua desionizada a una temperatura constante de 24 °C.

Con los datos cinéticos experimentales, se calcularon las constantes del modelo propuesto por Schott-Hans.

### Figuras y Tabla

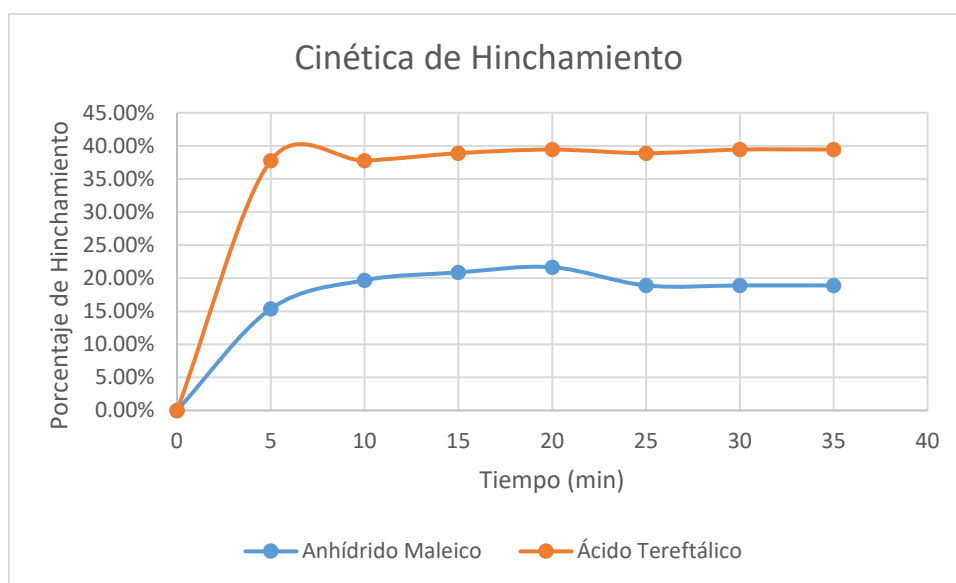
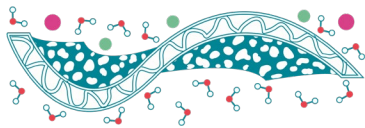


Figura 1. Cinética de Hinchamiento del Poli(alcohol vinílico) con Anhídrido Maleico y Ácido Tereftálico

## Conclusiones

Debido al bajo hinchamiento en agua desionizada, el PVAI/anhídrido maleico es un polímero reticulado con alto potencial para la preparación de membranas útiles en los procesos de separación de sistemas líquidos (ej. Alcohol-agua).

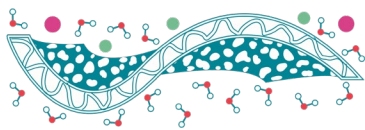
El anhídrido maleico presenta varias ventajas útiles como son: su bajo costo, su bajo punto de fusión (51-56 °C) y fácil disolución en agua.



---

## Referencias

- Bolto, B. (2009). Crosslinked poly(vinyl alcohol) membranes. *Progress in Polymer Science*, 969-981.
- Chapman, P. D., Li, K., Livingstone, A., & Oliveira, T. (2008). Membranes for the dehydration of solvents by pervaporation. *Journal of Membrane Science*, Vol. 318, no. 1-2, pp 963-1014.
- Chiang Wen-Yen, L. Y.-H. (2002). Properties of Modified Poly(vinyl alcohol) Membranes Prepared by the Grafting of New Polyelectrolyte Copolymers for Water-Ethanol Mixture Separation. *Journal of Applied Polymer Science*, 2854-2859.
- Gimenez V., M. A. (1997). Poly(vinyl alcohol) Modified with Carboxylic Acid Anhydrides: Crosslinking through Carboxylic Groups. *Journal of Polymer Science / Volume 65, Issue 8*, 1643-1651.
- J.M. Gohil, A. B. (2006). Studies on the Cross-linking of Poly(Vinyl Alcohol). *Journal of Polymer Research*, 161-169.
- Praptowidodo, V. (2005). Influence of swelling on water transport through PVA-based membrane. *Journal of Molecular Structure*, 207-212.
- Reyes, L. (2015). Preparación y caracterización de membranas de Poli(alcohol vinílico) (PVA) reticuladas con ácidos dicarboxílicos aromáticos. *UNAM, Fac. de Química*.
- Sonker A., R. K. (2017). Crosslinking of Polyvinyl Alcohol (PVA) and Effect of Crosslinker Shape (Aliphatic and Aromatic) Thereof. *J Polym Environ*.



# Efecto del envejecimiento físico en las propiedades de transporte de gases en membranas entrecruzadas de Poly (oxiindole bifenilileno) sometidas a vacío

J. Ortiz Espinoza<sup>1</sup>, F.A. Ruiz Treviño<sup>1</sup>

1. Departamento de Ingeniería y Ciencias Químicas, Universidad Iberoamericana, Prol. Paseo de la Reforma No. 880, Lomas de Santa Fe, Ciudad de México 01219.

\* E-mail: iqjesuso@gmail.com

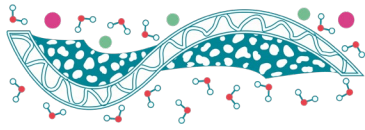
**Palabras clave:** Entrecruzamiento; PNPr; Envejecimiento; vacío ( $10^{-3}$ ).

## Introducción

En las últimas décadas la separación de gases, mediante membranas, ha crecido considerablemente debido al desarrollo de materiales poliméricos más eficientes y con mayor permeabilidad. Dentro de los polímeros empleados en membranas sobresalen los vítreos por que presentan características de selectividad y permeabilidad favorables con respecto a muchos otros polímeros. Sin embargo, estos no están en equilibrio y experimentan envejecimiento físico, que afecta las propiedades del material a medida que se dirige lentamente a un estado de equilibrio (Ansaloni et al., 2015). El envejecimiento físico provoca reducción de la permeabilidad en el tiempo, debido a la inevitable naturaleza dinámica de los polímeros amorfos (Struik, 1977). Existen diversos métodos para mitigar en cierta medida el envejecimiento físico entre los que se encuentra el entrecruzamiento químico o térmico (Kim et al., 2006). En esta investigación, se estudia el efecto de entrecruzamiento vía tratamiento térmico de las insaturaciones del grupo propargilo sobre las propiedades de selectividad de los gases y la permeabilidad de las membranas envejecidas de poli (oxiindole bifenilileno).

## Materiales y Métodos

El polímero, PNPr, se sintetizó a partir de bifenilo e isatina para posteriormente reaccionar con bromuro de propargilo. La formación de membranas se llevó a cabo mediante la técnica solución-evaporación de solvente. El solvente residual se eliminó al someter las membranas a 80 °C durante 24 y posteriormente se expusieron a diversos tratamientos térmicos (150, 170, 190 y 210 °C) durante 1 y 24 horas a vacío ( $10^{-3}$  Torr). Análisis de FTIR-ATR se llevaron a cabo para identificar los grupos funcionales y dar seguimiento a las reacciones de entrecruzamiento de los grupos insaturados de propargilo. Las propiedades de transporte se evaluaron después de aproximadamente 1500 h de envejecimiento físico.



## Resultados y Discusiones

El grado de avance de la reacción de entrecruzamiento del polímero PNPr se monitorea mediante FTIR-ATR. Las señales importantes corresponden a los grupos alquino, que se presenta en  $3296\text{ cm}^{-1}$  asociada a la vibración acetilénica, C-H, y la que se presenta en  $2120\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a la vibración de estiramiento  $\text{C}\equiv\text{C}$  (Chung et al., 2003). El área de ambas vibraciones disminuye al aumentar la temperatura de tratamiento (véase Figura 1). Para todos los gases, el efecto neto de aumentar la temperatura de tratamiento térmico da como resultado un aumento de los coeficientes de permeabilidad del gas, con una selectividad ideal que permanece prácticamente constante o aumenta dependiendo del tipo de gases permeados. Figura 2.

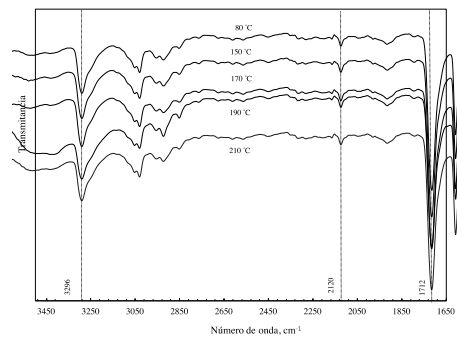


Figura 1. Espectro de FTIR-ATR para el polímero PNPr puro y para las membranas entrecruzadas térmicamente durante 1h.

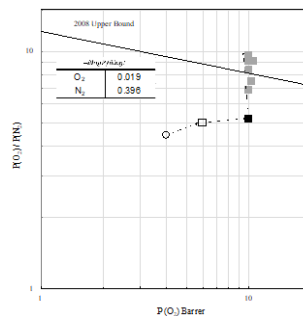


Figura 2. Relación de selectividad ideal-permeabilidad para los pares de gases  $\text{O}_2/\text{N}_2$  a  $35\text{ °C}$  y 2 bar, determinado para PNPr puro (circulo abierto) y membranas tratadas térmicamente a  $190\text{ °C}/1\text{ h}$  (cuadrado abierto) y  $190\text{ °C}/24\text{ h}$  (cuadrado negro). También se muestra una membrana entrecruzada a  $190\text{ °C}/24\text{ h}$  y envejecida bajo un vacío de  $10^{-3}$  Torr (cuadrados grises). El límite de límite superior 2008 de Robeson se muestra como una línea de referencia.

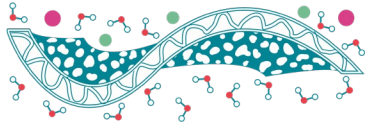
## Conclusiones

El polímero PNPr se sintetizó y entrecruzo a temperaturas entre  $150$  y  $210\text{ °C}$  durante periodos de tiempo de 1 y 24 h. El PNPr puede formar películas transparentes y flexibles con buenas propiedades mecánicas para las mediciones de permeación, alta estabilidad térmica y alta resistencia química (no soluble en NMP) y física (después de entrecruzamiento y el envejecimiento 1584 h a vacío de  $10^{-3}$  Torr).

## Referencias

Ansaloni, L.; Minelli, M.; Baschetti, M. G.; Sarti, G. C. (2015). *Effects of thermal treatment and*



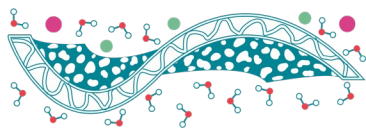


*physical aging on the gas transport properties in matrimid®*, Oil Gas Sci. Technol. **70**, 367–379.

Chung, T. S.; Ren, J.; Wang, R.; Li, D.; Liu Y.; Pramoda, K. P.; Cao, C.; Loh, W.W. (2003) *Development of asymmetric 6FDA-2,6DAT hollow fiber membranes for CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> separation: Part 2. Suppression of plasticization*. J. Membr. Sci. **214**, 57–69.

Kim, J. H.; Koros, W. J.; Paul, D. R. (2006). *Effects on CO<sub>2</sub> exposure and physical aging on the gas permeability on thin 6FDA polyimide membranes Part 2. With crosslinking*. J. Membr. Sci. **282**, 32-43.

Struik, L. C. E. (1977). *Physical aging in Plastics and other glassy materials*. Polym, Eng. Sci. **17**, 165-173



## Preparación sustentable de membranas poliméricas con resistencia a solventes orgánicos y altas temperaturas

**B. A. Pulido<sup>1</sup>, S. Wang<sup>1</sup>, G. Szekely<sup>1</sup>, S.P. Nunes<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Advanced Membranes and Porous Materials Center (AMPM), King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), 23955-6900 Thuwal, Saudi Arabia.

\* E-mail: bruno.pulido@kaust.edu.sa

**Palabras clave:** polímeros de alto rendimiento; membranas entrecruzadas; proceso sustentable; filtración de solventes orgánicos; reciclaje de polímeros

### Introducción

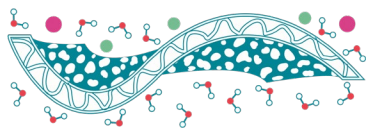
En este trabajo se explora el uso de polímeros en la fabricación sustentable de membranas porosas resistentes a solventes orgánicos y altas temperaturas. La motivación para el desarrollo de estas membranas esta fundamentada en los altos costos energéticos de los procesos de separación y purificación en la industria química (Marchetti *et al.*, 2014). Gran parte de estos procesos se basan en destilaciones térmicas con solventes orgánicos. La implementación de membranas para lograr dichas separaciones es una alternativa prometedora para la reducción de costes de operación, mejorar la eficiencia en reactores químicos y en general reducir la huella de carbono y agua de los procesos de transformación química (Peeva *et al.*, 2013), (Szekely *et al.*, 2014).

Las membranas poliméricas pueden producirse mediante *non-solvent induced phase separation* (NIPS por sus siglas en inglés) en un sistema continuo de *roll-to-roll* a partir de soluciones líquidas en solventes de bajo impacto ambiental (Wang *et al.*, 2019). Sin embargo, la mayoría de las membranas poliméricas carecen de una adecuada resistencia a solventes orgánicos, así como medios oxidantes, ácidos y básicos. Este problema puede ser resuelto mediante el entrecruzamiento o la funcionalización de las membranas para modular las propiedades finales, como ha sido reportado (Pulido *et al.*, 2017), (Pulido *et al.*, 2018). Adicionalmente, existen polímeros comerciales con propiedades intrínsecas que les permiten ser utilizados directamente sin modificaciones adicionales, como lo es el poly(etilentereftalato), PET.

Combinando el uso de solventes de bajo impacto ambiental y polímeros reciclados para preparar membranas de alto rendimientos es una estrategia novedosa que incrementa el valor de materiales y técnicas actuales en tecnología de membranas.

### Materiales y Métodos

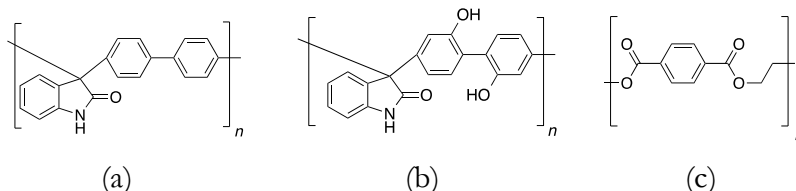
Los polímeros derivados de polioxindolebifenileno fueron preparados mediante policondensación ácida de acuerdo a métodos reportados (Gutierrez-Hernandez *et al.*, 2010). Los polímeros fueron modificados con bromuro de propargilo en el solvente verde PolarClean a temperatura ambiente. La estructuras de los polímeros modificados fue estudiada mediante técnicas espectroscópicas (NMR, FT-IR) y fueron térmicamente caracterizados mediante TGA y DSC. Las membranas porosas se prepararon mediante el método de *non-solvent induced phase separation* (NIPS), utilizando como solventes: PolarClean, polietilenglicol de 400 g/mol y agua pH = 14. La morfología de las membranas se estudió con FESEM. La evaluación de permeabilidad y *molecular weight cut-off*, (MWCO) de las membranas se realizó en solventes orgánicos comunes (DMSO, THF, DMF, NMP, entre otros). La determinación



del MWCO se determinó utilizando cromatografía de permeación en gel (GPC) con estándares de polietilenglicol.

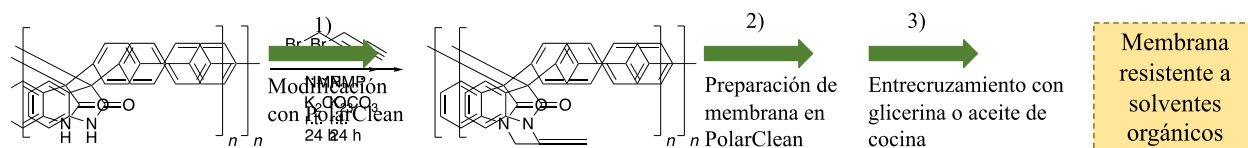
## Resultados y Discusiones

Los polímeros utilizados en la preparación de membranas se muestran en la figura 1.



**Figura 1.** Estructuras de los polímeros utilizados para la preparación de membranas. (a): poli(oxindolbifenilo), POXI. (b): poli(oxindole-2,2-bifenilo), POXI-OH. (c): poli(etilentereftalato), PET.

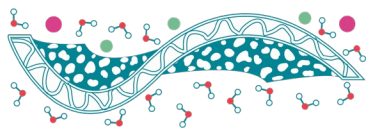
Anteriormente se reportó la preparación de membranas resistentes a solventes orgánicos basadas en poli(oxindolbifenilo) entrecruzado con 1) dibromuros (Pulido *et al.* 2017) y 2) grupos laterales propargilo (Pulido *et al.* 2018). Este proceso ha sido optimizado mediante el uso de solventes verdes como PolarClean y Polietilenglicol 400. PolarClean es un solvente no volátil, polar y aprótico de baja toxicidad que puede utilizarse para reemplazar N-metilpirrolidona o N-dimetilformamida (Wang, *et al.* 2019). Tanto la reacción de modificación como la preparación de membranas con POXI fue llevada a cabo en PolarClean. El paso final para el entrecruzamiento de la membrana se puede realizar en glicerol o aceite de cocina a 200 °C.



**Figura 2.** Esquema para la preparación sustentable de membranas resistentes a solventes orgánicos a partir de POXI.

Las membranas del polímero poli(oxindole-2,2-bifenilo) (POXI-OH), fueron preparadas utilizando DMSO como solvente, que se considera de bajo impacto ambiental. Las membranas preparadas con este polímero fueron entrecruzadas mediante calentamiento oxidativo, diferentes condiciones de tiempo y temperatura fueron exploradas para alcanzar una óptima resistencia a solventes orgánicos. Adicionalmente, se discute la preparación de membranas de POXI-OH utilizando agua (pH=14) dando lugar a una morfología única sin la necesidad de utilizar solventes orgánicos.

Por otra parte, en continuación a estos materiales, se reporta la preparación de membranas a partir de poli(etilentereftalato) (PET) obtenido de botellas de agua comerciales. Este material se encuentra disponible en grandes cantidades posee una resistencia intrínseca a solventes orgánicos. Se utilizó ácido trifluoroacético para la preparación de membranas de PET. Se estudió el efecto de aditivos, solventes y concentración de polímero en estructura, porosidad y morfología de las membranas obtenidas. Las membranas obtenidas pueden utilizarse en filtración de solventes orgánicos como N-dimetilformamida a temperaturas de 140 °C.

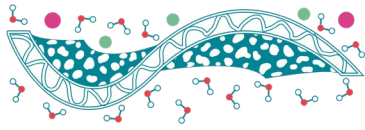


## Conclusiones

Este trabajo explora y discute diferentes estrategias para la preparación sustentable de membranas, evitando el uso de solventes orgánicos tradicionales. El proyecto con POXI utiliza solventes verdes, POXI-OH explora la formación de membrana en solventes acuosos, y membranas de PET son obtenidas mediante el reciclaje de botellas plásticas. Adicionalmente, la principal aplicación de las membranas preparadas está enfocada a sistemas de filtración y purificación de solventes orgánicos. De esta manera, tanto la preparación como la aplicación de las membranas discutidas, aborda una problemática ambiental y económica de manera sinérgica.

## Referencias

- Gutierrez-Hernandez M. C., Zootukhin, M. G., Fomine, S., Cedillo, G., Morales, S. L., Fhohlich N., Preis E., Scherf, U., Salmón M., Chávez M. I., Cardenas J., Ruiz-Treviño, (2010), A Novel, Metal-Free, Superacid-Catalyzed “Click” Reactions of Isatins with Linear, Nonactivated, Multiring Aromatic Hydrocarbons. *Macromolecules*, 43, 6968-6979.
- Marchetti, P.; Jimenez Solomon, M. F.; Szekeley, G. (2014), Livingston, A. G., Molecular separation with organic solvent nanofiltration: A critical review. *Chemical Reviews*, 114 (21), 10735-10806.
- Peeva, L.; Arbour, J.; Livingston, A. (2013), On the potential of organic solvent nanofiltration in continuous heck coupling reactions, *Organic Process Research and Development*, 17 (7), 967-975.
- Pulido, B. A.; Waldron, C.; Zolotukhin, M. G.; Nunes, S. P., (2017), Porous polymeric membranes with thermal and solvent resistance. *Journal of Membrane Science*, 539, 187-196.
- Pulido, B. A.; Chisca, S.; Nunes, S. P., Solvent and thermal resistant ultrafiltration membranes from alkyne-functionalized high-performance polymers, (2018), *Journal of Membrane Science*, 564, 361-371.
- Szekeley, G., Jimenez-Solomon, M.F., Marchetti, P., Kim, J. F., Livingston, A. G., (2014), Sustainability assessment of organic solvent nanofiltration: from fabrication to application. *Green Chemistry*, 16, 4440-4473.
- Wang, H.H., Jung, J.T., Kim, J.F., Drioli E., Moo Lee Y., (2019), A novel green solvent alternative for polymeric membrane preparation via non-solvent induced phase separation (NIPS). *Journal of Membrane Science*, 574, 44-54.



# Modelamiento y simulación en dinámica de fluidos computacional de un sistema de destilación por membranas de contacto directo para desalinización de agua

J.S. Buitrago Ortiz, R.J. Rodríguez de la Vega, J.C. Martínez Alvarado

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

\* E-mail: javierc.martineza@utadeo.edu.co

**Palabras clave:** Membrana; Destilación; CFD, Modelamiento, Desalinización.

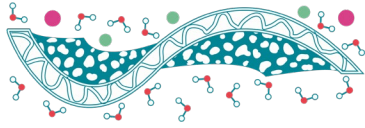
## Introducción

Desde el año 2011 las plantas de desalinización del mundo producen alrededor del 1.5 % del total de agua potable del mundo, esto corresponde a 16000 plantas de desalinización con una capacidad instalada global de 71.9 millones de m<sup>3</sup>/día (Wang,2011). La evaluación e implementación de tecnologías que contribuyan al mejoramiento del proceso de desalinización está en continuo desarrollo. Una tecnología evaluada relativamente novedosa es la destilación por membranas (MD). Este proceso consiste en una separación no isotérmica, cuya fuerza impulsora es la presión de vapor generado por los gradientes de temperatura que darán paso a una separación del vapor de agua, a través de una membrana selectiva al compuesto de interés por sus características de alta hidrofobicidad (Jhonson ,2017). Esto se traduce en un rechazo muy efectivo de iones, especialmente de cationes calcio, magnesio, sodio, potasio ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ ) y siendo menos selectivo con aniones por efectos de las fuerzas intermoleculares y la asociación con el agua. A través de la dinámica de fluidos computacional (CFD), se pueden aplicar las herramientas de modelamiento fenomenológico y matemático con el fin de simular el proceso conjugado de transferencia de masa, energía y cantidad de movimiento.

Con el fin de obtener la mejor configuración y las mejores condiciones de operación del proceso de desalinización mediante MD, en el presente trabajo se evalúan las condiciones de operación (Temperatura de alimentación y permeado, velocidad de alimentación y permeado, configuración de flujo), propiedades físicas del módulo de membrana plana (Porosidad, tortuosidad, diámetro de poro y espesor de membrana). Para esto se plantea un modelo que describe la transferencia de masa, energía y cantidad de movimiento del proceso.

## Materiales y Métodos

El modelo es desarrollado usando el software COMSOL .5.4, además de ello se analizarán los perfiles de transferencia de energía, masa y cantidad de movimiento óptimos para utilizar de manera correcta el área del módulo de destilación. La incidencia de las dimensiones del sistema se realizará con las respuestas a los datos validados con literatura. Una geometría 2D será planteada para resolver el modelo fenomenológico de transporte de agua en desalinización. En primera instancia se desarrollará en coordenadas rectangulares simulando una membrana plana.



## Resultados y Discusiones

A partir, de las simulaciones se determinaron las mejores condiciones de operación de las membranas obteniendo los flux de agua pura más elevados en un rango de ( 0.022-0.1822 kg/s)- utilizando polipropileno en comparación con PTFE este material tiene valores de flux 33% superiores. Además, se obtiene una incidencia despreciable en el cambio de configuración co-corriente a contracorriente en términos de incremento de la fuerza impulsora de la separación. Se presentan los resultados de las membranas diseñadas con sus respectivos mapas de contorno de temperatura, velocidad y concentración con fines demostrativos del mejoramiento del proceso en términos de separación aprovechando los gradientes de transporte generados por esta tecnología utilizando las condiciones favorables seleccionadas. El mapa de contorno que se muestra en la **Figura 1** expone las distribuciones de temperatura de ambos canales (alimentación y permeado) así como los de la membrana, se puede observar que no se presenta fenómeno de polarización por temperatura y por lo tanto las isoterms de ambos canales tienen cambios de temperatura muy pequeños, lo cual hace favorable la operación de destilación a estas condiciones.

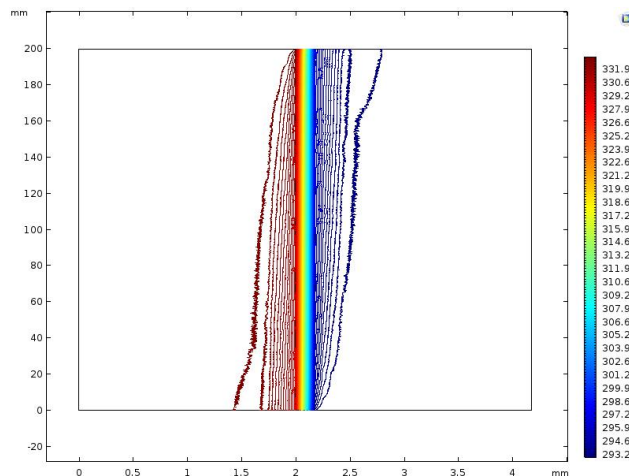
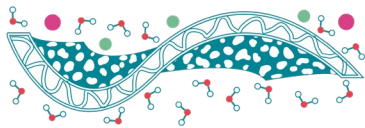


Figura 1 Mapa de contornos isotérmicos que describe el gradiente de temperatura absoluta en el sistema

## Conclusiones

La presentación de un modelo de fenómenos de transporte acoplado con su resolución en dinámica de fluido computacional es una ventaja en el desarrollo de la tecnología de destilación por membranas debido a que al simular los conceptos fundamentales de la operación se pueden diseñar los equipos aprovechando el transporte de energía, cantidad de movimiento y especies químicas, teniendo un impacto positivo en la solución de la problemática de desalinización.



## Síntesis de membranas de NF dopadas con óxido de grafeno

F.J. García-Picazo<sup>1</sup>, S. Pérez-Sicairos<sup>1,2</sup>, G. A. Fimbres-Weihs<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica/Instituto Tecnológico de Tijuana.

<sup>2</sup> Centro de graduados e Investigación en Química/Instituto Tecnológico de Tijuana.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente/Instituto Tecnológico de Sonora.

\* E-mail: sperez@tectijuana.edu.mx

**Palabras clave:** Nanofiltración; Polimerización interfacial; Óxido de grafeno; Nanomateriales.

### Introducción

El incremento en la población y en la contaminación de cuerpos de agua han provocado en los últimos años que la disponibilidad de este recurso se vea reducida (WHO, 2018). Además de esto, solo un pequeño porcentaje del agua es aprovechable para el consumo humano. Por lo anterior, el agua de mar o salobre se presentan como una opción viable para paliar la escasez del recurso hídrico. Sin embargo, el principal reto es diseñar tecnologías que permitan cubrir la demanda de agua potable.

Las operaciones por membrana, en particular la nanofiltración (NF), surgen como una alternativa para producir agua apta para uso doméstico a costo bajo. En los últimos años se ha buscado reemplazar los procesos de ósmosis inversa por procesos de nanofiltración, ya que éstos permiten reducir la presión de operación en 70-90%, reflejándose en una reducción del costo de operación.

Con el propósito de mejorar el rendimiento de los procesos de NF se han realizado diversas investigaciones en las que se incorporan diversos materiales durante la fabricación de las membranas. Algunos ejemplos de materiales y nanomateriales empleados son:  $\text{SiO}_2\text{-ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , nanotubos de carbono, óxido de grafeno (Wang, et al., 2018), entre otros. Mediante el dopaje con los materiales antes mencionados es posible mejorar algunas características de las membranas como son flujo de permeado, capacidad de rechazo de sales, resistencia al ensuciamiento y al bioensuciamiento, entre otras.

En este trabajo se estudia el efecto de la incorporación de óxido de grafeno (OG) modificado sobre las características y el desempeño de membranas de NF.

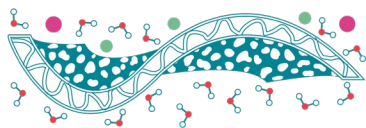
### Materiales y Métodos

Para la síntesis de óxido de grafeno se utilizó el método propuesto por (Marcano et al., 2018). El dopaje con nitrógeno se realizó utilizando etilendiamina y un agente enlazante. Para esto, 400 mg de OG se dispersaron en 100 ml de etilendiamina y se agregaron 2 mg de agente enlazante. La mezcla se ingresó a una autoclave a 200 °C por 2 h.

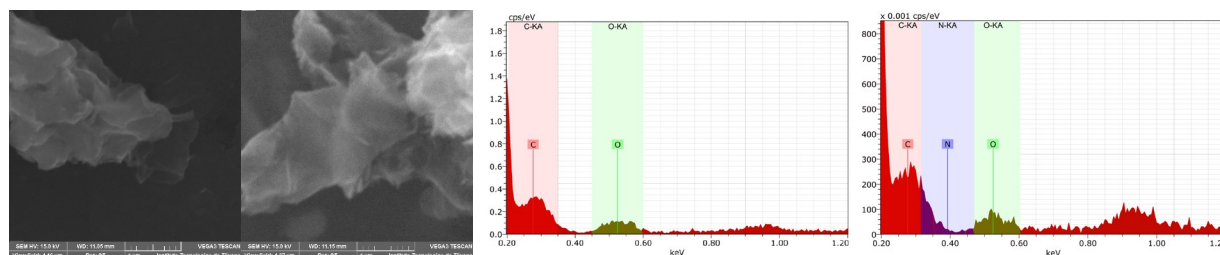
Las membranas de NF se prepararon mediante polimerización en interfase sobre una membrana porosa de polisulfona. La fase orgánica consistió en una solución de TMC 1% p/v en iso-octano, la fase acuosa en una solución de piperazina 0.25%, NaOH 0.50% y alcohol polivinílico 0.25% p/v. La incorporación del OG-N se hizo en la fase acuosa.

### Resultados y Discusiones

El óxido de grafeno preparado fue caracterizado mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de dispersión de rayos X (EDS). Las micrografías correspondientes a la figura 1 (a y



b) muestran la presencia de láminas de óxido de grafeno apiladas. Asimismo, se observan los resultados del análisis EDS en los incisos c y d, donde se observa la presencia de N.



**Figura 1.** Micrografías del OG preparado: a) OG, y b) OG-NH<sub>2</sub>. Análisis EDS del material preparado: c) OG y d) OG-NH<sub>2</sub>.

Las membranas preparadas fueron evaluadas para flujo de agua pura y rechazo de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (2000 ppm). Los resultados se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Desempeño de las membranas poliméricas: soporte (UF00), PA (NF01), PA-OG (NF02) y PA OGNH<sub>2</sub> (NF03).

Característica	UF00	NF01	NF02	NF03
Valor A x 10 <sup>3</sup> (l bar <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	46.2	19.39	26.16	38.95
Rechazo de sales (%)	53.0	99.20	99.92	78.26

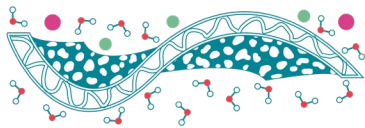
## Conclusiones

Se llevó a cabo la síntesis de OG y se ha propuesto un método para el dopaje de OG con nitrógeno y su inclusión en membranas de NF. Los resultados preliminares muestran que las membranas son capaces de remover hasta un 99.9% de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y flujo de permeado máximo de 38.95 l bar<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, aunque se debe optimizar la cantidad de OG adicionado, ya que se observa una disminución en la capacidad de rechazo al utilizar el OG-N, pero con un incremento en el valor A. Es necesario evaluar otros parámetros para determinar el efecto total del dopaje.

## Referencias

- Marcano, D.; Tour, J. M. (2010). Improved Synthesis of Graphene Oxide. ACS Nano. 4806-4814.
- Wang, J.; Gao, X.; Yu, H.; Wang, Q.; Ma, Z.; Zhang, Y.; Gao, C. (2019) Accessing of graphene oxide (GO) nanofiltration membranes for microbial and fouling resistance. Sep. Pur. Technology. 215, 91-101.
- WHO. Health topics: Water. (2018). <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. Consultado el 28 de abril de 2019.





## Síntesis y caracterización de membranas de intercambio iónico por el método de evaporación de solvente para su uso en electrodiálisis inversa.

D. M. Reyes Valadez<sup>1</sup>, J.S. Jaime Ferrer<sup>2</sup>, L. Villafaña López<sup>2</sup>

<sup>1</sup> División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato, Noria Alta s/n, Guanajuato, Gto.;

<sup>2</sup> Laboratorio En Estudios De Procesos De Membranas, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas. CIATEC A.C, Calle Omega 201, Industrial Delta, 37545 León, Gto.

[misaelreyes812@gmail.com](mailto:misaelreyes812@gmail.com)

**Palabras clave:** Membranas Intercambio Iónico; Electrodiálisis Inversa; Evaporación de Solvente, Energía Azul

### Introducción

La creciente demanda de energía y el cambio climático resultante del uso de combustibles fósiles requieren el uso inevitable de energías renovables. Un tipo de energía renovable es la Energía de Gradiente de Salinidad (SGE) o Energía azul, la cual es obtenida a través de la diferencia de salinidad entre el agua de mar y el agua de río usando Membranas de Intercambio Iónico (MII). Uno de los principales problemas que limita esta técnica es la baja eficiencia y altos costos de las MII, los cuales se deben en gran medida a los materiales utilizados en su síntesis. Es por eso que en este trabajo llevamos a cabo la síntesis y modificación, a escala piloto, de Membranas de Intercambio Aniónico (MIA) y Membranas de Intercambio Catiónico (MIC) con el objetivo de mejorar sus propiedades de selectividad y eficiencia durante el proceso de electrodiálisis inversa y generación de energía.

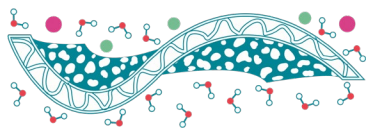
### Materiales y Métodos

La formación de ambas membranas se hizo mediante el proceso de evaporación de solvente utilizando la técnica de “casting”, la cual utiliza una cuchilla eléctrica para expandir la solución polimérica vertida en una superficie de cristal. La mezcla polimérica utilizada en la MIC se preparó disolviendo policloruro de vinilo (PVC) en tetrahidrofurano (THF), y después se agregó una cantidad estequiométrica de resina triturada (S. M. Hosseini et al., 2014), a esta membrana se le denominó “heterogénea”. Para la síntesis de la MIA se prepararon diferentes soluciones de *poliepiclorohidrina* (PECH), poliacrilonitrilo (PAN) y 1,4-diazabicyclo[2.2.2]octano (DABCO) en dimetil sulfoxido (DMSO). Estas soluciones se mezclaron en un matraz balón acoplado a una columna de reflujo, a esta membrana se le llamo “PECH/PAN/DABCO” (Güler Enver et al., 2012).

Con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas de ambas membranas se llevaron a cabo modificaciones específicas. En el caso de la membrana “heterogénea” se agregó acetato de celulosa (CA) al momento de preparar la solución polimérica (S.M. Hosseini et al., 2012). Para la membrana de “PECH/PAN/DABCO” se realizaron una serie de baños de cloruro de sodio (NaCl), polietilenimina (PEI) y glutaraldehído (GA) una vez que la membrana estaba formada (Meng Wang et al., 2014).

### Resultados y Discusiones

Los espectros infrarrojos de todas las membranas sintetizadas presentaron los grupos característicos reportados en la bibliografía; las pruebas de solubilidad y resistencia al pH corroboraron un buen entrecruzamiento de los polímeros base y los agentes reticulantes. Para que una MII sea considerada



adecuada para un sistema de electrodiálisis inversa debe de presentar bajo grado de hinchamiento (SD), y una alta capacidad de intercambio iónico (IEC); es decir, una alta cantidad de cargas fijas ( $CD_{fix}$ ). En una Tabla 1 se reportan estos parámetros además del espesor medido de las membranas y su ángulo de contacto de agua ( $\theta_w$ ).

El espesor de la membrana heterogénea y PECH/PAN/DABCO no fue medido debido a que eran pruebas preliminares a escala laboratorio. En el caso de las MIC se puede ver que la adición de CA incremento la hidrofobicidad de la membrana; sin embargo, el resto de los parámetros no cambió significativamente. A pesar de esto, estas membranas presentaron mejores resultados que las reportadas en la bibliografía. La modificación de la membrana de PECH/PAN/DABCO redujo el SD e incremento la hidrofiliidad, IEC y  $CD_{fix}$ , sugiriendo una mejora en su rendimiento. Tanto la MIC como la MIA fueron exitosamente escaladas a nivel piloto.

**Tabla 1.** Resultados de las caracterizaciones realizadas a las membranas de intercambio iónico junto con su error estándar (SE).

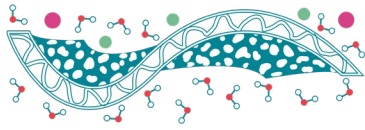
Membrana		Espesor $\pm$ SE ( $\mu\text{m}$ )	$\theta_w \pm$ SE ( $^\circ$ )	SD $\pm$ SE (%)	IEC $\pm$ SE (meq/g)	$CD_{fix} \pm$ SE (meq/g)
MIC	Heterogénea	-	$99 \pm 3$	$4.0 \pm 0.1$	$1.3 \pm 0.2$	$33.6 \pm 4.8$
	Heterogénea-CA	$269 \pm 2$	$134 \pm 1$	$4.5 \pm 0.7$	$1.6 \pm 0.1$	$36.3 \pm 3.0$
MIA	PECH/PAN/DABCO	-	$81 \pm 2$	$30.1 \pm 1.1$	$1.4 \pm 0.1$	$4.5 \pm 0.4$
	PECH/PAN/DABCO-GA/PEI	$154 \pm 1$	$58 \pm 1$	$25.0 \pm 2.1$	$2.5 \pm 0.3$	$10.1 \pm 1.2$

## Conclusiones

Se llevó a cabo la síntesis y modificación de dos MIC y dos MIA por el método de evaporación de solvente. Las membranas modificadas fueron exitosamente sintetizadas a escala piloto, siendo la membrana denominada PECH/PAN/DABCO-GA/PEI la que mostró mejoras significativas durante su caracterización, haciéndola una opción prometedora para la técnica de electrodiálisis inversa y generación de energía azul.

## Referencias

- Güler Enver et al., ChemSusChem 5 (2012) 2262 – 2270.  
Meng Wang et al., Desalination 351 (2014) 163–170.  
S.M. Hosseini et al., Desalination 306 (2012) 51–59.  
S. M. Hosseini et al., Desalination 345 (2014) 13–20.



# Comparación del efecto anti-bioensuciamiento de FeNPs en membranas de OI en dos sitios: México y Chile

M.M. Armendariz-Ontiveros<sup>1</sup> y G.A. Fimbres Weihs<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora, Antonio Caso & E. Kino, Cd. Obregón, Sonora, C.P. 85130, México*

<sup>2</sup> *Cátedras CONACyT, Instituto Tecnológico de Sonora, Antonio Caso & E. Kino, Cd. Obregón, Sonora, C.P. 85130, México*

\* E-mail: maria.armendariz@itson.edu.mx

**Palabras clave:** Bioensuciamiento; inmersión; polimerización en interface; desalinización

## Introducción

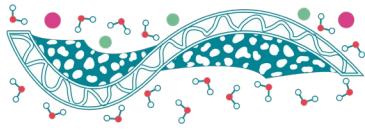
El bioensuciamiento es el principal problema que enfrentan las membranas de ósmosis inversa (OI) en procesos de desalinización, ya que involucra el crecimiento y adhesión de microorganismos en la superficie de las membranas, reduciendo la eficiencia de operación [1]. Por esta razón, muchos trabajos se han enfocado en la modificación de la superficie de la membrana utilizando diferentes materiales antimicrobianos con reconocido potencial para reducir el crecimiento de la biopelícula [2]. Entre los materiales utilizados están las nanopartículas que, a pesar de sus propiedades antimicrobianas, son difíciles de sintetizar e incrementan significativamente el costo de la modificación de membranas. Por otro lado, las nanopartículas de hierro (FeNPs) tienen efecto antimicrobiano, son muy fáciles de obtener y son relativamente baratas. Aunado a esto, un estudio previo [3] demuestra el potencial de las FeNPs para la modificación de membranas y reducción de bioensuciamiento, además de que han sido muy poco usadas en la desalinización. Por tal razón este estudio tiene como objetivo evaluar y comparar el desempeño anti-bioensuciamiento de membranas de OI modificadas con FeNPs, en dos ubicaciones geográficas, con el fin de elucidar el comportamiento de dicha modificación y apoyar a los esfuerzos para disminuir problemas de escasez de agua.

## Materiales y Métodos

El estudio se realizó en dos sitios contrastantes; el primero, en la playa el Cochórit en Empalme, Sonora, México, y el segundo en la playa el Sol en Viña del Mar, Chile. Se sintetizaron FeNPs por la metodología de reducción [3]. La modificación de las membranas con FeNPs (1 wt%) se realizó utilizando las metodologías de inmersión (México) y de polimerización en interface (Chile). Las propiedades físicas de las membranas modificadas se determinaron con AFM y ángulo de contacto. Se tomaron muestras de agua de mar en cada sitio y se pretrataron con filtro de cartucho y ultrafiltración. Se realizaron pruebas de bioensuciamiento acelerado utilizando agua sintética (agua de mar estéril pretratada) y una bacteria nativa de cada sitio de estudio, en un sistema de flujo cruzado a 6.2 MPa y 28 °C durante 90 h. Las membranas bioensuciadas se caracterizaron con microscopía de fluorescencia para determinar células vivas y muertas, y se determinó grosor de la capa de biopelícula, células totales y materia orgánica.

## Resultados y Discusiones

Los análisis del ángulo de contacto muestran que no hubo diferencias significativas en la modificación con FeNPs utilizando polimerización en interfase; sin embargo con la metodología de inmersión se obtuvo un aumento del 80% en la membrana con FeNPs. Este resultado indica reducción de la hidrofiliidad de la membrana y sugiere una reducción de la permeancia. La rugosidad muestra un aumento altamente significativo en las membranas recubiertas con FeNPs con ambas metodologías, en comparación con las no recubiertas. Esto puede crear nichos para la adhesión de microorganismos sobre la superficie de la membrana. Luego de las pruebas de bioensuciamiento, la Figura 1a muestra



que hubo una reducción altamente significativa en el grosor de capa de biopelícula en las membranas con FeNPs, con respecto a la membrana no recubierta. No se presentaron diferencias significativas en las membranas con FeNPs entre los sitios. La Figura 1b muestra una reducción altamente significativa en el porcentaje de células vivas en las membranas con FeNPs en comparación con las membranas no recubiertas. Se presentó una mayor reducción de células vivas en Chile; que puede deberse a que la bacteria utilizada está acostumbrada a vivir a temperaturas menores a 15 °C y el experimento se realizó a 28 °C, lo que representa estrés para esta cepa. El porcentaje de células muertas presentó una reducción altamente significativa en las membranas con FeNPs; sin embargo, no se presentaron diferencias en los sitios. Esto indica que el efecto biocida de las FeNPs es el mismo utilizando cualquier tipo de agua.

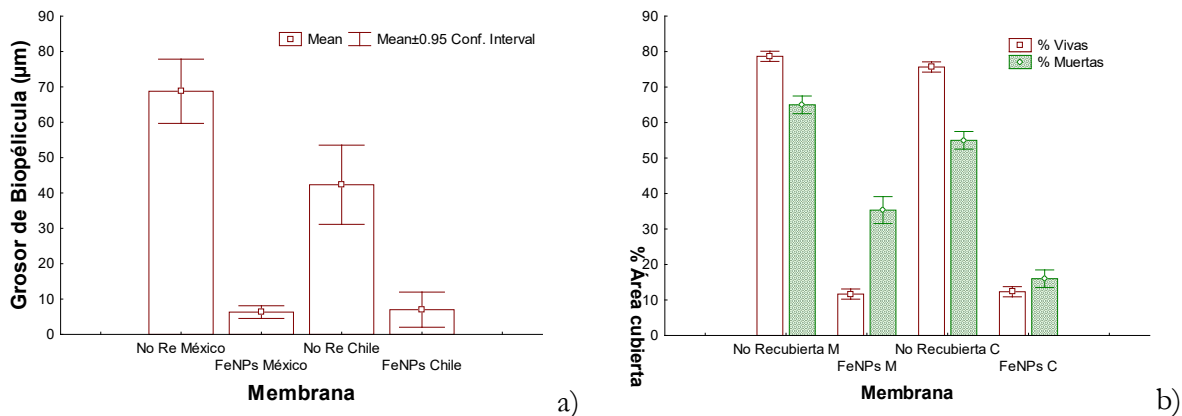


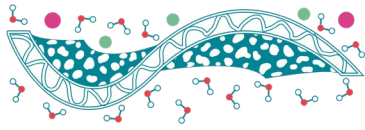
Figura 1. a) Grosor de la biopelícula sobre la membrana después del bioensuciamiento. b) Células vivas y muertas presente en la biopelícula

## Conclusiones

El recubrimiento de FeNP tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el flux de la membrana. Pero se logró una reducción de la contaminación biológica, evidenciada por menores valores de: grosor de biocapa, conteo total de células y materia orgánica. Las FeNPs son útiles para la reducción del bioensuciamiento, pero es necesario encontrar la concentración óptima para que se mantenga o aumente el flux.

## Referencias

1. Winters, H., et al. *Adhesion/biofilm formation by wastewater bacteria on RO membranes conditioned with humics/glycoproteins*. . in *Desalination and Water Reuse*. 2015. San Diego, California.
2. Rodríguez, B., et al., *Antibiofouling thin-film composite membranes (TFC) by in situ formation of Cu-(m-phenylenediamine) oligomer complex*. *Journal of Materials Science*, 2018. **53**(9): p. 6325-6338.
3. Armendáriz-Ontiveros, M.M., et al., *Biofouling performance of RO membranes coated with Iron NPs on graphene oxide*. *Desalination*, 2019. **451**: p. 45-58.



## Flujo limitante observado en ósmosis de presión retardada

Sophia L. Plata<sup>1</sup> and Amy E. Childress<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Southern California, Los Angeles, CA 90089

\*E-mail: [crawforl@usc.edu](mailto:crawforl@usc.edu)

**Palabras clave:** ósmosis de presión retardada, ósmosis, desalinación

### Introducción

La escasez global de agua ha causado reciente interés en sistemas que tratan fuentes alternativas de agua potable, incluyendo la ósmosis inversa (RO). Sin embargo, la RO ha sido asociada con altas demandas de energía y con impactos ambientales negativos. Para mitigar los costos económicos y ambientales, nuevos procesos como ósmosis de presión retardada (PRO) [1-3]. PRO usa energía originada por la diferencia de presión osmótica entre una solución salina concentrada (e.g., RO brine) y una solución con menor salinidad (e.g., efluente residual tratado). Las moléculas de agua pasan a través de una membrana semipermeable desde la solución con menor salinidad hacia la solución concentrada debido a la diferencia en el potencial químico en ambos lados de la membrana. Presión hidráulica es aplicada en la solución concentrada mientras el agua pasa a través de la membrana. En la solución concentrada el volumen y la presión se acumulan, los cuales pueden ser liberados por medio de una hidroturbina o un intercambiador de presión para producir energía.

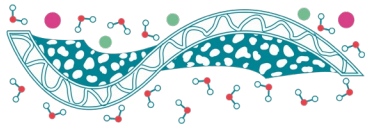
### Materiales y métodos

En este trabajo, cuatro membranas comercialmente disponibles utilizadas para forward osmosis fueron probadas usando PRO. Con el propósito de aislar efectos de acumulación en ambos lados de la membrana, la complejidad de la solución fue incrementada poco a poco por medio de la adición de sales y foulants. De esta forma, la solución concentrada (RO brine) se asemeja más a RO brine de agua de mar y la solución de menor concentración se asemeja más a un efluente residual tratado.

### Discusión y Resultados

Sin foulants, el desempeño de las membranas se dio acorde con sus propiedades intrínsecas (coeficiente de permeabilidad de agua (A), coeficiente de flujo reverso salino (B), y parámetro estructural (S) [4, 5]). Sorprendentemente, todas las membranas mostraron un flujo de agua similar cuando se utilizaron condiciones que incluyen foulants. Una vez que las membranas quedaron saturadas con los foulants, las propiedades intrínsecas no tuvieron efecto en el flujo de agua a través de la membrana. Por el contrario, las propiedades originadas por las capas depositadas de foulants impactaron en el flujo de agua. Este fenómeno, análogo al flujo limitante observado en RO y en nanofiltración [6], ha sido observado por primera vez en varias membranas usando PRO.

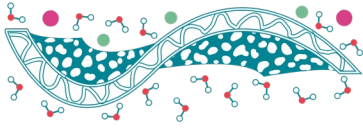
### Conclusión



Debido a que los proveedores de agua apuntan a tratar fuentes de agua con mayor cantidad de sales para poder incrementar el agua potable disponible, nuevas tecnologías son más necesarias para separar la relación entre consumo energético y tratamiento de agua. El método de PRO es prometedor con respecto a los desafíos del tratamiento de brine y el efecto en el consumo de energía y la producción de gases de invernadero que se producen con la desalinación. El trabajo propuesto es crítico para el desarrollo de membranas con aplicaciones en PRO. La identificación de propiedades clave que pueden ser alteradas para mejorar el desempeño a pesar del flujo limitado inducido por los foulants puede significativamente mejorar la viabilidad de sistemas, no solamente sistemas que usan PRO, sino para cualquiera sistema que use membranas para osmosis bajo condiciones con foulants. Más aún, este trabajo servirá de guía para el desarrollo de membranas en otros sistemas que funcionan con alta presión que también tienen foulants como RO y nanofiltración.

## Referencias

1. Achilli, A., et al., *Experimental Results from RO-PRO: A Next Generation System for Low-Energy Desalination*. Environmental Science & Technology, 2014. **48**(11): p. 6437-6443.
2. Chalida Klaysom, T.Y.C., Tom Depuydt, and Ivo F.J. Vankelecom, *Forward and pressure retarded osmosis: potential solutions for global challenges in energy and water supply*. Royal Society of Chemistry, 2013. **42**: p. 6959-6989.
3. Achilli, A. and A.E. Childress, *Pressure retarded osmosis: From the vision of Sidney Loeb to the first prototype installation — Review*. Desalination, 2010. **261**(3): p. 205-211.
4. Morrow, C.P. and A.E. Childress, *Evidence, Determination, and Implications of Membrane-Independent Limiting Flux in Forward Osmosis Systems*. Environmental Science & Technology, 2019. **53**(8): p. 4380-4388.
5. Tiraferri, A., et al., *A method for the simultaneous determination of transport and structural parameters of forward osmosis membranes*. Journal of Membrane Science, 2013. **444**: p. 523-538.
6. Tang, C.Y., Y.-N. Kwon, and J.O. Leckie, *The role of foulant–foulant electrostatic interaction on limiting flux for RO and NF membranes during humic acid fouling—Theoretical basis, experimental evidence, and AFM interaction force measurement*. Journal of Membrane Science, 2009. **326**(2): p. 526-532.



## Membranas para la Regeneración Tisular Guiada

M. V. García-Garduño<sup>1</sup>, L. E. Vargas-Ulloa.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación. Laboratorio de Biomateriales Dentales, Facultad de Odontología, UNAM

[marvicgg@unam.mx](mailto:marvicgg@unam.mx)

Palabras clave: Membrana, regeneración tisular guiada.

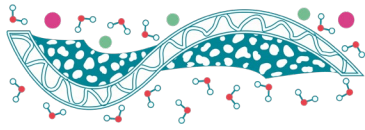
### *Introducción*

La utilización de membranas para restauración de tejidos, han sido ampliamente utilizadas en Odontología. Inicialmente se utilizaban como una barrera que impedían que los tejidos de granulación se dispersaran, sin embargo, la observación de esta aplicación biomédica llevó al discernimiento de que éste proceso, presenta mecanismos secuenciales en la reparación de los tejidos, hasta llegar a la reintegración de tejido original y por tal motivo se le llamó regeneración tisular guiada mencionada por vez primera en 1982 por Nyman, Lindhe, Karring.<sup>1</sup>

Las primeras barreras utilizadas como membranas en la regeneración periodontal se elaboraban a base de teflón y mallas de titanio, biomateriales que si permitían guiar a los tejidos a su reparación, por lo que a este proceso se le llamó desde 1986 Ingeniería de Tejidos, ya que las secuencias de reparación tisular en este proceso se ha encontrado que la neoformación. La ingeniería de tejidos, se basa en la utilización de biomateriales con las características específicas con materiales bioactivos, biomiméticos y bioabsorbibles capaces de estimular la respuesta celular y molecular de forma controlada, para que actúen como soportes temporales en la reparación de tejidos. El objetivo de la ingeniería de tejidos es recopilar ideas o teorías que restauren, mantengan o mejoren los tejidos dañados u órganos completos.<sup>2</sup> Por ejemplo en la regeneración periodontal, se ayuda con mecanismos adicionales como, la estimulación de diferentes mecanismos, dejar un coágulo en los tejidos incididos, estimular el tejidos periostal y la colocación de la membrana; sin embargo, las membranas de teflón y titanio, se deben retirar cuando el tejido ha sido neoformado, se requiere de una segunda cirugía y el tejido reparado se vuelve a dañar.<sup>3</sup>

También es común el uso de membranas a base de colágena en la regeneración de tejidos, las cuales son biodegradables y biocompatibles, sin embargo, se reabsorben prematuramente por lo que queda parcialmente resuelto el problema.<sup>4</sup>

En todos estos procesos se incursiona en la investigación para lograr la reparación de los tejidos al 100% y en los avances de Biología Molecular y la Medicina Regenerativa, se ha investigado que la matriz extracelular tiene toda la capacidad de evocar la neoformación de los tejidos, por lo que se concluye que las mejores membranas son las biológicas, ya que cuentan con todo el potencial para llevar a cabo este proceso.<sup>5</sup>



## **Material y Método**

### **Membranas de Teflón PTFE y Mallas de Titanio y Membrana de Colágena**

Caracterización mediante Microscopía Electrónica de Barrido(MEB)

Se caracterizó la superficie de una membrana comercial Gorex® mediante un microscopio Jeol 5900, se colocó sobre un portamuestras y la malla de titanio y se observó directamente. Las membranas de colágena se obtuvieron de carnaza de bovino mediante el procedimiento de sinterización y pasadas a través de un rodillo hasta obtener una grosor de 0.5 mm, se dejaron secar y se recortaron por piezas que medían 2.0 x 2.0 cm<sup>3</sup> y se caracterizaron mediante MEB en un Microscopio Jeol 5000 a bajo vacío. Se incluyeron 48 muestras de membranas de huevo de diferentes especies de aves, procedentes de una granja avícola de Xochimilco, D. F., 12 de cada especie: a) gallina, b) guajolota, c) pata, d) paloma y codorniz. Estas se caracterizaron morfológicamente con un MEB, JEOL JSM 5900 con un voltaje de aceleración de 20 Kv, el análisis químico elemental se realizó por EDS con una sonda Oxford; los grupos funcionales fueron estudiados mediante espectroscopía infrarroja (Thermo Sci Nicolet 6700 con ATR Thermo Sci Smart).

### **Pruebas biológicas**

Tanto las membranas de malla de Ti-PTFE y colágena se implantaron en el dorso de 10 ratas Wistar machos de 200g con acceso libre a agua y comida de acuerdo a lineamientos éticos de investigación: 5 ratas Wistar para las mallas de Ti y 5 ratas Wistar para las membranas de colágena. Se sacrificaron las ratas a 2 y tres meses post implante y se extrajeron las cutícula y el tejido, se deshidrataron se colocaron en un Histokinet con colorantes como el rojo de Ruthenio y Azul de tripan, se hicieron cortes histológicos para su observación mediante microscopía fotónica Zeiss.

### **Resultados**

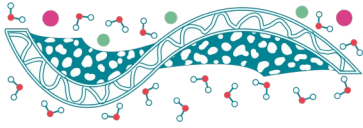
En la caracterización por MEB se puede observar la morfología topográfica de las membranas de PTFE y Ti y las de colágena, los materiales son biocompatibles, ya que la observación del tejido dorsal de la rata *in vivo* mostraron que no hubo datos de inflamación por infección, ni de rechazo del material y conductualmente las ratas siempre estuvieron normales y activas. Los cortes histológicos muestran organización tisular y presencia de tejidos musculares y de colágena organizados de manera normal. Las membranas de PTFE y Ti no tuvieron deterioro a los 3 meses post implante, sin embargo las membranas de colágena se reabsorbieron y tuvieron integración con los tejidos musculares. La cutícula de cascarn de huevo de codorniz (fig.1.I,J) presentó las mejores propiedades morfoquímicas, sin embargo, la cutícula de huevo de gallina (fig.2 A y B) también presenta buenas propiedades morfoquímicas y es más accesible.

### **Conclusiones**

Las cualidades de las membranas estudiadas nos hacen concluir

1. Las membranas de PTFE y Ti son excelentes en cuanto a biocompatibilidad y duración en el tejido, sin embargo, no es deseable realizar una segunda intervención quirúrgica, para extraerlas.





2. Las membrana de colágena son excelentes en cuanto a regeneración, sin embargo, su tiempo de duración post implante, no es suficiente para regeneración el total del tejido, se requieren más investigaciones para obtener mejor resultado en cuanto al tiempo de permanencia o combinación con otros materiales.
3. Membranas de cutícula de huevo, se proponen para regeneraciones complejas como la de fisuras nasoalveolares, los resultados sugieren que en cuanto a duración y biocompatibilidad, podrían ser las mejores en la regeneración de huesos diferenciados.

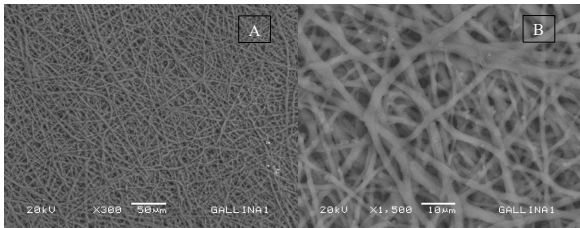
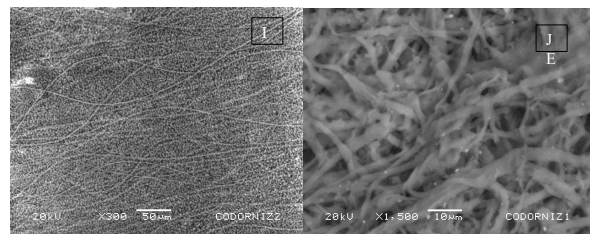


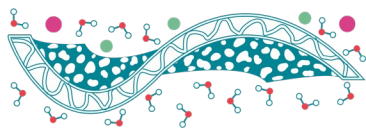
Fig. Cutícula interna del huevo de gallina A. zona externa, B. zona interna

Fig. Cutícula interna del huevo de codorniz I. zona externa, J. zona interna



## REFERENCIAS:

1. Periodoncia y Osteointegración 2004; 14 (N° 1) Fasc. 8:17-30
2. Instituto Nacional de Bioingeniería e Imágenes Biomédicas, Ingeniería de Tejidos y Medicina Regenerativa, 6707 Democracy Blvd. Suite 200 Bethesda, MD 20892, [www.nibib.nih.gov](http://www.nibib.nih.gov).
3. Vargas, J. (2016). Membranas de uso en regeneración ósea guiada. *Odontología Vital* 24:35-42.
4. Zermeño IJA y col. Comparación entre membranas biodegradables y no degradables *Revista ADM* 1999;LVI(1):39-43.
5. Lim KS, Baptista M, Moon S, Woodfield TBE, Rnjak-Kovacina J. Microchannels in Development, Survival, and Vascularisation of Tissue Analogues for Regenerative Medicine. *Trends Biotechnol.* 2019 May 7. pii: S0167-7799(19)30080-0.



# EFICIENCIA DE DIALISIS EN MEMBRANAS DE MEZCLAS POLIMÉRICAS CON IMPREGNACIÓN SUPERFICIAL DE COPOLÍMEROS FUNCIONALIZADOS

C.C. Xix Rodríguez<sup>1</sup>, V. Martínez Cornejo<sup>1</sup>, A.J. Montes Luna<sup>1</sup>, M.J. Aguilar Vega<sup>1</sup>, M.O. González Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., Calle 43 No. 130, Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México. <sup>2</sup> CONACYT- Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México \* [maria.gonzalez@cicy.mx](mailto:maria.gonzalez@cicy.mx)

**Palabras clave:** Diálisis; PLA; Copolímeros funcionalizados

## Introducción

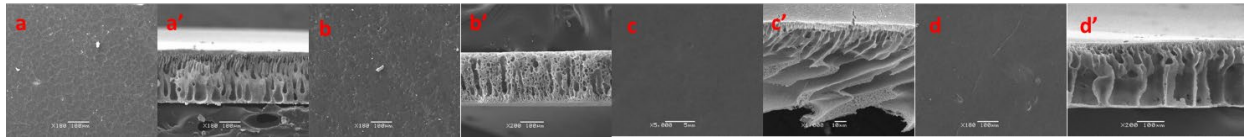
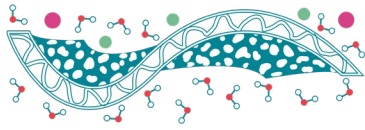
Las membranas convencionales de hemodiálisis son comúnmente preparadas con polímeros sintéticos, como polimetacrilato de metilo (PMMA), poli(éter-sulfona) (PES) y polisulfona (PSF). Estos materiales han sido utilizados debido a sus buenas propiedades mecánicas, inercia química y estabilidad térmica. Sin embargo, carecen de biocompatibilidad y presenta un grave problema al momento de su eliminación causando serios problemas de contaminación ambiental (Zhu et al., 2015). En este trabajo se presenta la elaboración de membranas a partir de poliácido láctico (PLA) mezclados con copolímeros en bloque anfifílicos funcionalizados. Los copolímeros se seleccionaron considerando que contengan un bloque polimérico hidrofóbico (PMMA) que proporcione compatibilidad con la matriz polimérica de PLA y un segundo bloque con diferentes grupos funcionales que proporcione hidrofiliidad y biocompatibilidad a la membrana. Las membranas obtenidas se modificaron superficialmente con la adición de diversas capas de copolímeros funcionalizados mediante la técnica de pulverización por spray. Se presenta la caracterización físicoquímica y superficial de las membranas y su potencial desempeño en un proceso de diálisis.

## Materiales y Métodos

Los copolímeros anfifílicos polimetacrilato de metilo-*b*-poli(metacrilato de 2-hidroxietilo) (PMMA-*b*-PHEMA), polimetacrilato de metilo-*b*-poli(acrilamida-2-metilpropano ácido sulfónico) (PMMA-*b*-PAMPS) y polimetacrilato de metilo-*b*-poli(metacrilato de 2-dimetilamino etilo) (PMMA-*b*-PDMAEMA) se sintetizaron usando la técnica de polimerización radicalica por transferencia de átomos (ATRP). Se realizaron mezclas de PLA con cada copolímero y se utilizó la técnica de inversión de fases para la obtención de las membranas. La impregnación de superficie se llevó a cabo a partir de la técnica de pulverizado (Vargas & Hernández, 2016). La caracterización de las membranas se realizó con pruebas de adsorción estática, de flujo de agua y proteínas, ángulo de contacto, microscopía electrónica de barrido (SEM) y diálisis.

## Resultados y Discusiones

Las membranas fueron realizadas usando agua/acetona/isopropanol (95/2.5/2.5 %v/v). En la figura 1 se puede observar los cambios de la morfología de la membrana realizada con PLA/PMMA-*b*-PHEMA, PLA/PMMA-*b*-PAMPS, PLA/PMMA-*b*-PDMAEMA



**Figura 2.** Membranas de a) PLA, b) PLA/PMMA-b-PHEMA, c) PLA/PMMA-b-PDMAEMA y d) PLA/PMMA-b-PAMPS en el baño de agua, isopropanol, acetona (95/2.5/2.5 %v/v); vistas superficial y transversal (marcados como a', b', c' y d', respectivamente)

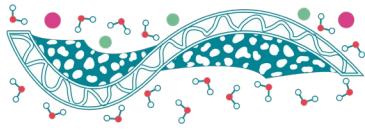
Las membranas obtenidas demostraron ser altamente porosas al añadir el copolímero como aditivo en comparación con la membrana únicamente de PLA. Así mismo, se realizaron las pruebas de ángulo de contacto y adsorción de proteínas en superficie. Tal como se esperaba, se observa un ángulo de contacto menor para aquellas membranas con el copolímero agregado, el ángulo de contacto disminuyó con la adición de los copolímeros y la impregnación en la superficie del mismo material. Esto se refleja de la misma manera en la cantidad de proteínas adsorbidas en la superficie, siendo la membrana de PLA/PMMA-b-PDMAEMA con la menor cantidad de proteínas adsorbidas ( $3.54 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) y la de PLA la mayor con proteínas en su superficie ( $32.9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ).

## Conclusiones

Las membranas obtenidas presentaron porosidades altas, al igual que una mejora en su morfología al agregar los copolímeros funcionalizados y una disminución en el ángulo de contacto, lo cual representa un incremento en la hidrofiliicidad al modificar la superficie. Disminuye la cantidad de proteínas adsorbidas en la superficie, aumentando la propiedad de anti-incrustamiento.

## Referencias

- Vargas Alfredo, N., Hernández, J. R. (2016) *Microstructured polymer blend surfaces produced by spraying functional copolymers and their blends*. Materials. 9(431).
- Zhu, L., Liu, F., Yu, X., & Xue, L. (2015). *ACS Applied Materials and Interfaces*, 7(32), 17748-17755.



## Fraccionamiento de hidrolizados de proteína de yema de huevo empleando membranas de ultrafiltración

*A.L. Peñaranda López<sup>1</sup>, E. Brito de la Fuente<sup>2</sup>, B. Torrestiana Sánchez\**

<sup>1</sup>Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, TNM-ITVeracruz, Av. M. A. de Quevedo 2779, Veracruz, Ver. 91897, México.

<sup>2</sup>Product and Process Engineering Center, Global Manufacturing Pharmaceutical, Pharmaceuticals Division, Fresenius Kabi Deutschland GmbH, Rathausplatz 12, D-61352 Bad Homburg, Germany.

\*[btorrest@itver.edu.mx](mailto:btorrest@itver.edu.mx), [alba\\_2710@hotmail.com](mailto:alba_2710@hotmail.com)

**Palabras clave:** proteína de yema de huevo, hidrolizado, péptidos, ultrafiltración.

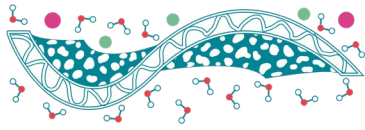
### Introducción

Durante la extracción de fosfolípidos de la yema de huevo es obtenido un subproducto rico en proteína, el cual es generalmente desechado por las plantas procesadoras de lecitina. La hidrólisis enzimática es un método que ha sido ampliamente empleado para el aprovechamiento de subproductos ricos en proteína, ya que los hidrolizados obtenidos pueden usarse para el mejoramiento de las propiedades nutricionales de los alimentos. Sin embargo, los hidrolizados requieren un fraccionamiento para separar los péptidos con actividades biológicas importantes, incrementando así, su valor nutricional o comercial. Hidrolizados de proteínas de diferente origen han sido fraccionados empleando la ultrafiltración (UF) (Klompong *et al.*, 2007; Chi *et al.*, 2014; Wiriyaphan *et al.*, 2015; Sabeena *et al.*, 2016), sin embargo, la mayoría de los trabajos tienen como objetivo principal la evaluación de la actividad biológica de las fracciones obtenidas, por lo cual, la UF es reducida a una simple herramienta de fraccionamiento para propósitos analíticos. No se han encontrado reportes donde se evalúe de manera sistemática el desempeño del proceso de UF en función de variables como: la concentración inicial de proteína, las propiedades de las membranas, ni se ha empleado el concepto de flux sostenible durante el fraccionamiento de hidrolizados protéicos de yema de huevo. En el presente trabajo se planteó estudiar el efecto de la composición de los hidrolizados, de las propiedades de la membrana (naturaleza y MWCO) empleando el concepto de flux sostenible durante el fraccionamiento de hidrolizados de proteína de yema de huevo.

### Materiales y Métodos

Se obtuvieron hidrolizados a partir de concentraciones elevadas de proteína de yema de huevo libre de lecitina [P], los cuales fueron fraccionados mediante un proceso multietapa de membranas de 10, 5 y 1 kDa de diferente naturaleza: celulosa regenerada (CR), polietersulfona (PES) y triacetato de celulosa (TAC). En esta etapa se empleó una celda agitada que opera en condiciones de flujo pistón y se evaluó el desempeño de las membranas en términos de flux.

La membrana polimérica que presentó los mejores resultados en flujo pistón fue seleccionada y se comparó con membranas cerámicas tubulares empleando módulos que operan en flujo tangencial. En estos módulos tangenciales se establecieron condiciones hidrodinámicas para mantener un flux sostenible durante la UF. El contenido de proteína en la alimentación, el retenido y el permeado en todos los experimentos se determinó por el método de Kjeldahl.



## Resultados y Discusiones

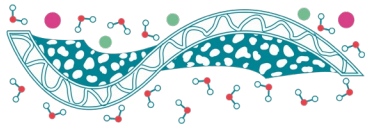
Durante el fraccionamiento de los hidrolizados empleando el sistema flujo pistón, el flux para membranas con corte de peso molecular similar varió en el siguiente orden CR>PES>TCA. Mediante pruebas de permeabilidad al agua de las membranas antes y después del fraccionamiento, se observó que las membranas de CR presentaron el menor ensuciamiento, lo cual fue atribuido a la mayor hidrofiliicidad de dicho material. En el sistema tangencial, empleando las membranas cerámicas y las de CR, se establecieron condiciones hidrodinámicas que permitieran trabajar en flux sostenible. Las membranas cerámicas presentaron un mejor desempeño en términos de flux en comparación con las membranas CR. Las membranas de 5 kDa (tanto cerámicas como de CR) presentaron un menor flux en comparación con las membranas de 10 kDa. Sin embargo, estas últimas presentaron un mayor ensuciamiento cuando se trabajó a una concentración de proteína del 10%. Esto puede deberse a un mayor ensuciamiento interno en dichas membranas debido a la incrustación de péptidos de peso molecular similar al diámetro de poro.

## Conclusiones

En el sistema flujo pistón, el mejor rendimiento en términos de flux y el menor ensuciamiento se obtuvieron con membranas de celulosa regenerada durante el fraccionamiento de hidrolizados de proteína de yema de huevo. En el sistema tangencial se logró establecer condiciones hidrodinámicas que permitieran trabajar en el flux sostenible obteniéndose el mejor desempeño al trabajar con las membranas cerámicas.

## Referencias

- V. Klompong, S. Benjakul, D. Kantachote, and F. Shahidi, "Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally (*Selaroides leptolepis*) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type," *Food Chem.*, vol. 102, no. 4, pp. 1317–1327, 2007.
- C. Chi, B. Wang, Y. Deng, Y. Wang, S. Deng, and J. Ma, "Isolation and characterization of three antioxidant peptides from protein hydrolysate of monk fish (*Lophius litulon*) muscle," vol. 55, pp. 222–228, 2014.
- C. Wiriyaphan, H. Xiao, E. A. Decker, and J. Yongsawatdigul, "Chemical and cellular antioxidative properties of threadfin bream (*Nemipterus spp.*) surimi byproduct hydrolysates fractionated by ultrafiltration," *Food Chem.*, vol. 167, pp. 7–15, 2015.
- K. H. Sabeena Farvin, L. L. Andersen, J. Otte, H. H. Nielsen, F. Jessen, and C. Jacobsen, "Antioxidant activity of cod (*Gadus morhua*) protein hydrolysates: Fractionation and characterisation of peptide fractions," *Food Chem.*, vol. 204, pp. 409–419, 2016.



## Remoción de fármacos reguladores de lípidos utilizando reactores de membrana sumergida

T. Gutierrez Macias<sup>1</sup>, P. Mijaylova Nacheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CONACYT-IMTA, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, 62574 Jiutepec, Morelos.

<sup>2</sup> IMTA, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, 62574 Jiutepec, Morelos.

\* E-mail: tgutierrez@tlaloc.imta.mx

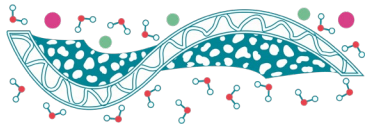
**Palabras clave:** Fármacos reguladores de lípidos; agua sintética; reactor de membrana sumergida.

### Introducción

Actualmente está demostrada la presencia de productos fármacos y sus metabolitos en las aguas residuales esto debido a su alto consumo, sus altas tasas de excreción y su baja o nula remoción cuando se utilizan sistemas de tratamiento convencionales (D'Alessio *et al.*, 2018). Los fármacos son contaminantes emergentes debido a que son difíciles de biodegradar y están presentes en concentraciones pequeñas ( $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), no están regulados y se conoce poco del impacto en el medio ambiente. De los fármacos detectados con mayor incidencia en las aguas residuales son los reguladores de lípidos, ácido clofibríco (ACL) y gemfibrozil (GFZ) los cuales son utilizados para controlar el colesterol y triglicéridos en la sangre. Se ha reportado la presencia de ambos fármacos en las aguas residuales en concentraciones de  $2\text{-}15,000\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  (D'Alessio *et al.*, 2018), incluso su presencia ha sido detectada también ríos a nivel mundial y en México en concentraciones de  $20\text{-}5,900\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  (Rivera-Jaimes *et al.*, 2018; Campos *et al.*, 2017). La presencia de estos fármacos en cuerpos de agua afecta al sistema endocrino en peces e inhiben el crecimiento de los moluscos (Parrott y Bennie 2009). Se ha demostrado que los fármacos son removidos en sistemas convencionales en un 30 -50% (Radjenovic *et al.*, 2009). Por tal motivo se ha pensado en métodos avanzados que permitan la remoción y/o biodegradación de este tipo de contaminantes. Por tal motivo el objetivo de este trabajo es remover mediante un sistema de membrana sumergida los fármacos ACL y GFZ.

### Materiales y Métodos

El sistema experimental estuvo compuesto por dos reactores de membrana sumergida (BRM) con un volumen de 6.5 L. El agua utilizada fue sintética y se fortificó con  $5\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  de ACL y  $6\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  de GFZ durante la fase de aclimatación, y con  $0.4$  de ACL y  $0.8\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  de GFZ para las tres Fases experimentales. Cada BRM operó con un módulo de membrana de ultrafiltración de polisulfona y fibra hueca con corte molecular de 100 kDa. Los reactores operaron de manera continua y automatizada (con tiempos succión de 3 min y 45 s de retrolavado) durante un periodo de 400 días el cual fue dividido en la aclimatación del sistema y tres fases experimentales. Durante cada fase los reactores operaron con diferentes tiempos de retención celular (TRC) de 5-10 días, tiempo de retención hidráulico (TRH) de 4,7 y 10 h, sólidos suspendidos totales en el licor mezclado (SSTLM) de  $6,000$  y  $10,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y cargas orgánicas (F/M) de 0.48, 0.77 y 0.43  $\text{kgDQO}\cdot\text{kgSSTLM}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  en el BRM1 y 0.21, 0.34 y 0.26  $\text{kgDQO}\cdot\text{kgSSTLM}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  en el BRM2. El ACL y GFZ fueron analizados mediante cromatografía de gases mediante la validación del método de Gutierrez-Macias y Mijaylova. (2015). Las Muestras de fármacos se tomaron en el líquido (influyente y permeado) y en sólido (licor mezclado).



## Resultados y Discusiones

Como resultados se observó que ambos fármacos durante la etapa de aclimatación en los dos reactores presentaron remociones mayores al 90%. Sin embargo, cuando se cambió a la Fase 1 la remoción disminuyó al disminuir la fortificación de los fármacos. En el BRM1 la remoción del ACL en la Fase 2 y 3 fue de 60 al 79% mientras que el GFZ mantuvo remociones 80 a 97% (Figura 1). En el BRM2 el ACL presentó remociones máximas de 84% (Fase 2) mientras que el GFZ durante las 3 fases presentó altas remociones de 98%. (Figura 2). Estudios anteriores han reportado remociones de ACL y GFZ menores a las obtenidas en este trabajo (20-50%) tanto en sistemas de lodos activados como de membrana (Radjenovic *et al.*, 2009).

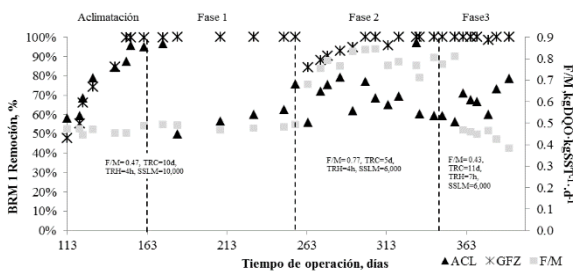


Figura 1. Remoción ACL y GFZ en BRM1

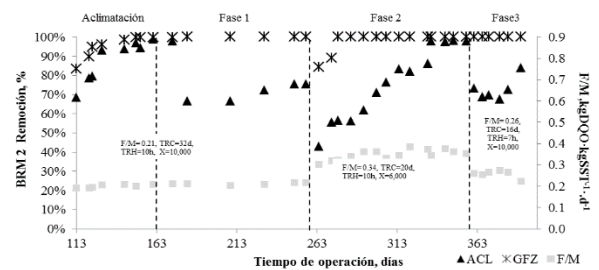


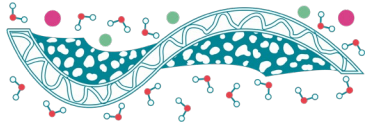
Figura 2. Remoción ACL y GFZ en BRM2

## Conclusiones

Los biorreactores con membrana sumergida demostraron la capacidad de remover completamente el GFZ presente en el agua. El ACL resultó ser más persistente en comparación con el GFZ, lográndose una remoción máxima de 84%. El aumento de los valores de TRC y TRH favorece la remoción del ACL.

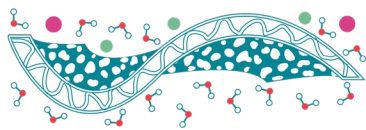
## Referencias

- D'Alessio, M., Onanong, S., Snow, D., Ray, C. (2018) *Occurrence and removal of pharmaceutical compounds and steroids at four wastewater treatment plants in Hawai'i and their environmental fate*. *Sci. Total Environ.*, **631–632**, 1360–1370.
- Campos, C., Alvarado, E., Becerril, J., (2017). *Determinación de fármacos y metabolitos en muestras de agua, suelo y sedimento de la zona lacustre de la Ciudad de México, por extracción acelerada con disolventes y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas*. *AIDIS*, **10**, 285–302.
- Gutierrez-Macias, T., Mijaylova, N.P. (2015) *Clofibric acid and Gemfibrozil removal in membrane bioreactors*. *Water Sci. Technol.*, **71(8)**, 1143-1150.
- Parrott, J., Bennie D. (2009). *Life- Cycle Exposure of fate minnows to a mixture of six common pharmaceuticals and triclosan*. *J. Toxicol. Environ Health A*, **72**, 633-641.
- Radjenovic, J., Petrovic, M., Barceló, D. (2009). *Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of CAS and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment*. *Wat. Res.* **43**, 831-841.
- Rivera-Jaimes, J., Postigo, C., Melgoza-Alemán, R., Aceña, J., Barceló, D., López de Alda, M. (2017). *Study of pharmaceuticals in surface and wastewater from Cuernavaca, Morelos, Mexico: Occurrence and environmental risk assessment* *Sci.Tot. Envi.* **613–614**, 1263–1274.



# Presentaciones en Poster





## Sensor cromogénico inmovilizado en membrana modificada con acrilato.

**<sup>1</sup> D.L. Martínez Zepeda<sup>1</sup>, D.L. Romero-Hinojosa<sup>1</sup>, O. Valdes-Valdes<sup>1</sup>, R. Romero-Romero<sup>1</sup>, A. Dorazco González<sup>2</sup>, R.M. Gómez Espinosa<sup>1\*</sup>,**

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM. Facultad de Química UAEM. Carretera Toluca-Atlaconulco km 14.5, C.P. 50200, San Cayetano, Toluca, Estado de México.

<sup>2</sup> Instituto de Química UNAM, Universidad 3000. Ciudad Universitaria, Ciudad de México.

\* E-mail: [rosamarigo@gmail.com](mailto:rosamarigo@gmail.com)

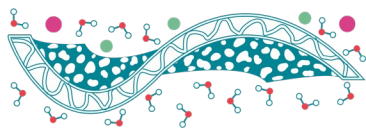
**Palabras clave:** Membranas; Química Supramolecular; Polipropileno; Modificación, Sensores Cromogénicos

### Introducción

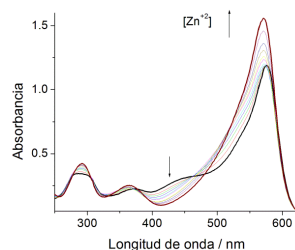
La investigación involucra la modificación de membranas de polipropileno con acrilato de sodio para mejorar sus propiedades hidrofílicas y posteriormente inmovilizar un compuesto supramolecular cromogénico, generando un sensor para la detección, identificación y cuantificación de analitos biológicos y oxoaniones, mismos que tienen una importancia alta a nivel biológico, industrial y alimenticio. La investigación se llevó a cabo en dos etapas: en la primera se modificó el polipropileno a través de una polimerización por injerto usando radiación UV obteniendo polipropileno-AcO<sup>-</sup>Na<sup>+</sup>. En la segunda etapa se inmoviliza el complejo Zn (II)-naranja de xilenol, se sabe que dicho complejo puede actuar como un sensor cromogénico en solución de varios analitos orgánicos con participación biológica. Al inmovilizarlo en la membrana se obtiene un quimiosensor soportado facilitando su uso. Esta propuesta pretende mejorar las técnicas analíticas convencionales (HPLC, Masas, CG) que hoy en día pueden ser costosas, requieren tiempos prolongados de ejecución. El desarrollo de estos sensores es un nuevo panorama dentro de la tecnología de membranas que propone una nueva y funcional aplicación de este material.

### Materiales y Métodos

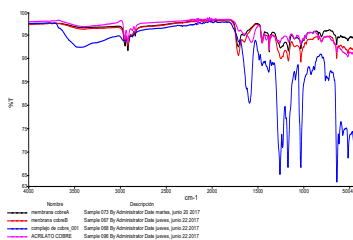
Para la preparación de las membranas de acrilato se empleó material de polipropileno, el cual se modifica a través de una reacción de polimerización por injerto que comprende impregnar dicha membrana con benzofenona y ácido acrílico, se coloca en un equipo Soxhlet con acetona por 24 horas y se realiza una reacción ácido-base con una solución de NaOH colocándose a reflujo por un periodo de 30 minutos, generando así el carboxilato. Para la preparación del complejo de Zn (II) se disolvió naranja de xilenol en metanol y se adicionó triflato de Zn (II), la mezcla se puso a reflujo por 24 horas con agitación constante. El soporte de este complejo en la membrana de acrilato se logró mediante una reacción fotoquímica en la cual hay contacto del complejo con la membrana durante 3 horas. La técnica de utilización es colocar en la membrana una gota de los ácidos dicarboxílicos y oxoaniones y observar el viraje de color que presentan es importante mencionar que si el viraje tiende a colores más fuertes la concentración es mayor.



## Resultados y Discusiones



**Figura 1** Titulación espectroscópica de XO con Zn (II)



**Figura 2** Espectros de membranas de polipropileno en sus diferentes fases de modificación.



**Figura 3** Respuesta colorimétrica en la membrana de diferentes analitos del ciclo de Krebs.

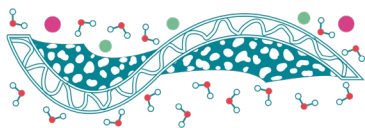
En la figura 1 se muestra el espectro de absorción de UV-vis de la disolución de naranja de xilenol con  $\text{Zn}(\text{OTf})_2$  donde se observa los cambios de absorción del colorante conforme se adiciona  $\text{Zn}(\text{OTf})_2$ . Cinco puntos isobésticos se aprecian en la gráfica lo que demuestra que existen nuevas especies en la disolución. En la figura 2, se observa la diferencia estructural de la membrana de polipropileno en sus diferentes etapas de modificación, se puede apreciar la presencia de los grupos funcionales modificando la membrana. La figura 3, muestra la aplicación de la membrana al detectar analitos del ciclo de Krebs mediante respuesta colorimétrica, se puede observar que algunos analitos son más fácilmente detectables por el cambio de color más notorio.

## Conclusiones

La polimerización por injerto utilizando radiación UV fue eficiente para la funcionalización del polipropileno actuando como soporte del complejo Naranja de Xilenol Zn (II), el cual tiene aplicaciones potenciales en la detección y cuantificación de especies dicarboxílicas.

## Referencias

- Araújo, W. L., Nunes-Nesi, A., & Fernie, A. R. (2011). Fumarate: Multiple functions of a simple metabolite. *Phytochemistry*, 72(9), 838–843.
- Belleza, O. J. V., & Villaraza, A. J. L. (2014). Ion charge density governs selectivity in the formation of metal-Xylenol Orange (M-XO) complexes. *Inorg. Chem. Comm.*, 47(3), 87–92.
- Curiel, D., Más-Montoya, M., & Sánchez, G. (2015). Complexation and sensing of dicarboxylate anions and dicarboxylic acids. *Coord. Chem. Rev.*, 284, 19–66.



## Obtención de nanofibras de pululano como contribución al desarrollo de un sistema de encapsulación del péptido LfcinB (21-25)<sub>Pal</sub>

J.T.Román<sup>1\*</sup>, C.A. Fuenmayor<sup>2</sup>, M.A. Zuluaga<sup>2</sup>, D. Clavijo<sup>3</sup>, M. Acosta<sup>4</sup>, J.E García-Castañeda<sup>1</sup>, R.Fierro Medina<sup>5</sup>, Zuly Jenny Rivera-Monroy<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Farmacia. <sup>3</sup>Facultad de Medicina <sup>5</sup>Departamento de Química. <sup>2</sup>Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Av. carrera 30 No. 45 – 03, Bogotá, Código Postal 11321, Colombia. <sup>4</sup>Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Technopark, Calle 52a No. 9-52, Código postal 110231, Bogotá, Colombia

\* E-mail: jtromanb@unal.edu.co

**Palabras clave:** Pululano; Nanofibras; Electrospinning; Actividad antibacteriana; Péptidos sintéticos.

### Introducción

El objetivo de este trabajo es obtener membranas que puedan usarse como vehículos de transporte de PAMs, para combatir infecciones en heridas quirúrgicas y en pacientes quemados. Se seleccionó como modelo experimental E. coli, ya que E. coli es uno de los microorganismos predominantes en este tipo de patologías.

### Materiales y Métodos

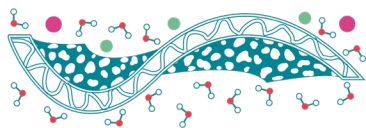
#### *Obtención, purificación y caracterización de péptidos derivados de LfcinB y evaluación de su actividad antibacteriana*

Los péptidos se sintetizaron utilizando la metodología de síntesis manual de péptidos en fase sólida empleando la estrategia Fmoc/tBu. La eliminación del grupo Fmoc se realizó tratando la resina con 4-metilpiperidina al 2,5% en DMF. La reacción de acople se realizó pre-activando los Fmoc-amino ácidos con DCC/6-Cl-HOBt, seguido de adición de la mezcla de reacción a la resina. La reacción de desprotección de las cadenas laterales y separación del péptido de la resina se realizó tratando la resina-péptido con el cóctel de clivaje que contenía TFA/agua/TIS/EDT. La purificación se realizó mediante RP-SPE, analizando las fracciones por RP-HPLC y las moléculas fueron caracterizadas por espectrometría de masas MALDI-TOF (Insuasty et al 2019). La CMI se determinó mediante un ensayo de micro dilución en caldo y la CMB empleando la metodología de Huertas et al 2017

#### *Elaboración y caracterización de las membranas nano fibrosas*

Se prepararon soluciones acuosas de pululano en agua al 20% (p/p) conteniendo diferentes concentraciones de péptido (LfcinB (21-25)<sub>Pal</sub>). La solución polimérica se cargó en una jeringa de 5 ml la cual se conectó a una aguja metálica, ajustando los parámetros (caudal de 0,5 mL, distancia de 11 cm desde la aguja hasta una bandeja de cobre: potencial eléctrico en 15 kV y tiempo de recolección de 20 min (Fuenmayor et al 2016). Su morfología y topografía fueron analizadas mediante SEM y AFM. La cuantificación del péptido en la fibra se realizó mediante RP-HPLC.

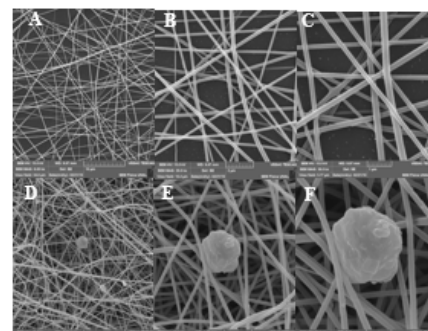
### Resultados y Discusiones



El péptido LfcinB (21-25)<sub>Pal</sub>, se obtuvo en cantidad y pureza suficientes para realizar los ensayos microbiológicos (Tabla 1), Los resultados de actividad antibacteriana contra *E. coli* ATCC 25922 obtenidos en este trabajo muestran que el péptido LfcinB(21-25)<sub>Pal</sub> presenta actividad y que está en concordancia con reportes previos (Vargas et al 2019). Se obtuvieron membranas nano fibrosas de Pululano que contienen el péptido LfcinB (21-25)<sub>Pal</sub> por electrospinning. Las membranas obtenidas fueron de color blanco y con una textura homogénea característica. Las nanofibras con péptido, obtenidas fueron homogéneas con diámetros entre 200 y 300 nm además tienen aspecto uniforme, son delgadas y no presentan perlas. Mientras que las nanofibras control presentan mayor distribución de diámetros y presencia de perlas. El análisis por SEM permitió observar la formación de múltiples núcleos en el enrejado de las nanofibras (Figura 1), Es importante resaltar que en las fibras control no se observaron núcleos de aglomerados. Los resultados de AFM sugieren que la rugosidad y homogeneidad de la superficie de los controles son diferente a las observadas para las nanofibras con péptido. Los resultados de actividad de las membranas muestran que la actividad antibacteriana del péptido se conserva.

**Tabla 1.** Caracterización de los péptidos obtenidos por RP-HPLC y resultados de los ensayos de actividad antibacteriana

Péptido	Cromatografía RP-HPLC			CMI/CMB $\mu\text{M}(\mu\text{g}/\text{mL})$
	t <sub>r</sub> (min)	%Pureza <sup>a</sup>	Rendimiento (%) <sup>b</sup>	<i>E. coli</i> 25922
LfcinB (21-25) <sub>Pal</sub>	5,9	97	13	17(25)/34(50)
Pul- LfcinB(21-25) <sub>Pal</sub>	5,9	97	N/D	17(25)/68(100)



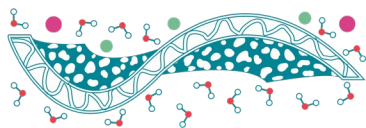
**Figura 1.** Comparación microscópica de la membranas control y membrana péptido

## Conclusión

Es posible obtener membranas nanofibrosas de Pululano incorporadas con péptidos bioactivo de síntesis, que tienen actividad antibacteriana frente a patógenos de interés.

## Referencias

- 1 C.A Fuenmayor; Cosio (2016). *Encapsulation of phenolic compounds in food grade biopolymer nanofibers*. *Agron. Colomb.* 34, S951- S954
- 2 N. J. Huertas, A. J. Rivera, R. F. Medina, and J. E. García(2017) *Synthetic Peptides Derived from Bovine Lactoferricin Exhibit Antimicrobial Activity against E. coli ATCC 11775, S. maltophilia ATCC 13636 and S. enteritidis ATCC 13076.*, *Molecules*, 22, Ep87.
- 3 D.S. Insuasty, H.M. Pineda, A.V. Rodríguez, J.E. Castañeda, M. Maldonado, R.Fierro, Z.J. Monroy, (2019) *Synthetic Peptide Purification via Solid-Phase Extraction with Gradient Elution: A Simple, Economical, Fast, and Efficient Methodology*. *Molecules*, 24, 11, E1215
- 4 Y. Vargaz, A.V. Rodríguez, K.J. Cardenaz, A.L. Leal., L.C. , Muñoz, R.Fierro, Z.J: Rivera, J.E. García.(2019). *Synergistic bactericide and antibiotic effects of dimeric, tetrameric, or palindromic peptides containing the RWQWR motif against Gram – positive and Gram – negative Strains*. *RSC Advances* .9. 7239.



## Desarrollo y optimización de una membrana polimérica de inclusión para el muestreo pasivo de Cu(II)

R. González Albarrán<sup>1\*</sup>, E. Rodríguez de San Miguel Guerrero<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Química, UNAM

\* renegalbarran@comunidad.unam.mx

**Palabras clave:** muestreador pasivo; membrana polimérica de inclusión; Kelex-100

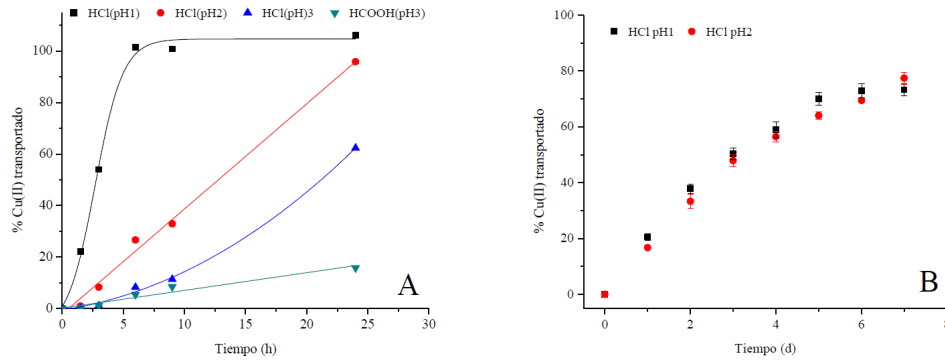
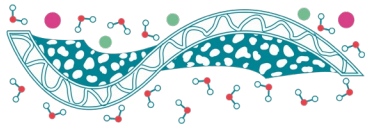
**Introducción.** El muestreo pasivo es una técnica de monitoreo de analitos tanto orgánicos como inorgánicos en sistemas gaseosos, acuáticos y sólidos (A. Kot-Wasik et al., 2007), que ha adquirido cada vez más relevancia dadas sus ventajas de manipulación y análisis (J. Namiesnik et al., 2005). Aunque se han propuesto a las membranas poliméricas de inclusión (PIM por sus siglas en inglés) como materiales para muestreo pasivo (M.I. Almeida, et al., 2017); aún es escaso lo que se sabe acerca de su comportamiento y respuesta como muestreadores para metales en medio acuoso, por ello en este trabajo se plantea el desarrollo y optimización de una PIM que contiene al agente extractante Kelex-100 para el muestreo pasivo de Cu(II).

**Materiales y métodos.** Se prepararon PIMs que contenían CTA, TEHP y Kelex-100 como polímero base, plastificante y agente acarreador, respectivamente. La preparación se realizó de acuerdo a lo descrito en Rodríguez de San Miguel et al, 2006. La determinación de la composición óptima de la fase receptora se llevó a cabo en una celda de transporte de dos compartimientos (Vol total 200 mL); así como se describe en Khavita & Palanivelu, 2012. La duración de transporte fue de 24 h, con agitación constante. Para la determinación de la composición óptima de la membrana, los transportes se llevaron a cabo sin agitación y durante un periodo de 7 días.

Para evaluar la capacidad de predicción de la concentración de Cu(II) mediante la PIM, se construyó un dispositivo similar al reportado en M.I. Almeida et al., 2016, con un volumen de fase donadora y receptora de 500 mL y 10 mL, respectivamente. Para la composición de la fase donadora se tomó como referencia la reportada en E.A. Rodríguez morales et al., 2015, MES  $10^{-2}$  mol/L, pH 6.6; misma para todos los experimentos. El periodo de muestreo fue de 11 días, sin agitación. En todos los transportes se evaluó una concentración  $10^{-4}$  mol/L de Cu y como técnica de cuantificación y referencia se empleó FAAS.

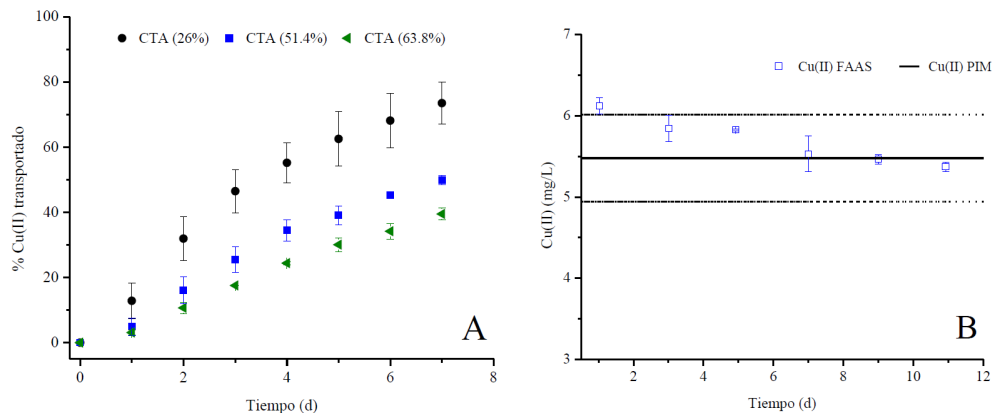
### Resultados y discusión

**Efecto de la fase de recuperación.** Para el desarrollo de un muestreador pasivo, la cantidad de metal transportado debe ser proporcional al tiempo. Al evaluar HCl (pH 1, 2 y 3) y ácido fórmico (pH 3) como fase receptora, se observó que con HCl, pH 2 había una mayor proporcionalidad entre %Cu(II) transportado y el tiempo de transporte (Fig 1). Sin embargo, al extender el transporte a 7 días (sin agitación) se observó que no había diferencias significativas en los perfiles HCl pH 1 y 2 (Fig. 2), por lo que se seleccionó HCl, pH 2 para experimentos posteriores.



**Figura 1. A)** Perfil de recuperación del transporte de Cu(II)  $10^{-4}$  mol/L. Composición de fase: HCl pH 1, 2 y 3; y ácido fórmico pH 3. **B)** Perfil de recuperación del transporte de Cu(II)  $10^{-4}$  mol/L Sin agitación. Composición de fase: HCl, pH 1 y 2. Tiempo: 7 días.

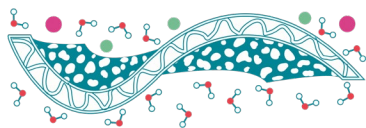
**Efecto de la cantidad de CTA sobre de trasporte de Cu(II).** Se evaluó el transporte de Cu(II) empleando membranas con cantidades variables de CTA. El resto de los componentes se mantuvo constante. La cantidad de CTA demostró tener un gran efecto sobre el transporte de Cu(II) (Fig. 3). De acuerdo con lo observado se decidió fijar como composición adecuada una PIM con 63.8% de CTA, dado que en el muestreo pasivo es conveniente tener flujos bajos del metal.



**Figura 3. A)** Efecto de la cantidad de CTA sobre el transporte de Cu(II)  $10^{-4}$  mol/L. **B)** Determinación de la concentración de Cu(II) por FAAS y mediante la PIM. Las líneas paralelas corresponden a la desviación estándar de 3 dispositivos.

**Evaluación del muestreador pasivo.** Se observó que la PIM capaz de predecir la concentración de Cu(II) en solución (Fig. 3). En la figura 3 se muestra la concentración calculada por la PIM (como un promedio) y la concentración transitoria de Cu(II) determinada por FAAS a lo largo del tiempo. La PIM demostró predecir la concentración de Cu(II) a partir del tercer día de muestreo mientras que, a tiempos menores ocurrieron sobreestimaciones, debido al tiempo de retraso (lag time) requerido para la difusión de Cu(II) a través de la PIM.

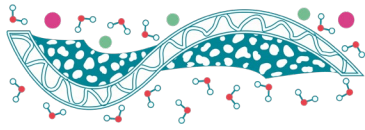
**CONCLUSIONES.**



Se desarrolló y probó con éxito un muestreador pasivo de Cu(II) basado en una membrana polimérica de inclusión que contiene como acarreador Kelex-100. Se observó que tanto la composición de la fase receptora, como la composición de la membrana influyen en el transporte de Cu(II), por lo que la modificación de dichos parámetros permite la obtención de perfiles lineales de transporte a lo largo del tiempo de muestreo haciendo posible la aplicación de la PIM como muestreador pasivo.

## REFERENCIAS

1. Almeida MI, Cattrall RW, Kolev SD. Polymer inclusion membranes (PIMs) in chemical analysis-A review. *Analytica chimica acta*. 2017 Sep 22;987:1-4.
2. Almeida, M, Silva, AM, Coleman RA, Pettigrove VJ, Cattrall RW, Kolev SD. Development of a passive sampler based on a polymer inclusion membrane for total ammonia monitoring in freshwaters. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2016; 408(12):3213-22.
3. Kavitha N, Palanivelu K. Recovery of copper (II) through polymer inclusion membrane with di (2-ethylhexyl) phosphoric acid as carrier from e-waste. *Journal of membrane science*. 2012 Oct 1;415:663-9.
4. Kot-Wasik A, Zabiegała B, Urbanowicz M, Dominiak E, Wasik A, Namieśnik J. Advances in passive sampling in environmental studies. *Analytica chimica acta*. 2007 Oct 29;602(2):141-63.
5. Namieśnik, J., Zabiegała, B., Kot-Wasik, A. et al. Passive sampling and/or extraction techniques in environmental analysis: a review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (2005) 381: 279.
6. Rodríguez de San Miguel E, Hernández-Andaluz AM, Bañuelos JG, Saniger JM, Aguilar JC, de Gyves J. LIX®-loaded polymer inclusion membrane for copper(II) transport: 1. *Materials Science and Engineering: A*. 2006;434(1):30-8
7. Rodríguez-Morales E.A, Rodríguez de San Miguel E, de Gyves J. Evaluation of the measurement of Cu(II) bioavailability in complex aqueous media using a hollow-fiber supported liquid membrane device (HFSLM) and two microalgae species (*Pseudokirchneriella subcapitata* and *Scenedesmus acutus*). *Environmental Pollution*. 2015 Nov; 206: 712-719



# Optimización del transporte facilitado de arsénico (V) con membranas poliméricas de inclusión, utilizando la metodología de superficie de respuesta

Y. Rojas-Challa<sup>1\*</sup>, E. Rodríguez de San Miguel<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Departamento de Química Analítica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

\* E-mail: [yahserojas@informatica.fquim.unam.mx](mailto:yahserojas@informatica.fquim.unam.mx); [yahserojas@gmail.com](mailto:yahserojas@gmail.com)

**Palabras clave:** Arsénico; A336; Matriz Doehlert; Membranas de poliméricas de inclusión (PIMs); Metodología de superficie de respuesta (RSM).

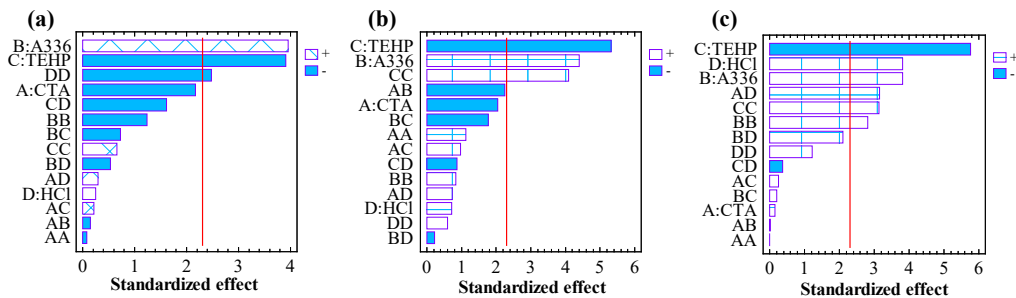
## Introducción

La contaminación del agua por la presencia de arsénico (As) representa una gran amenaza para el medioambiente, los animales y los humanos (Cascaret-Carmenaty *et al.*, 2014). En las últimas décadas las membranas poliméricas de inclusión (PIMs) han ganado un interés importante para la remoción de As en soluciones acuosas (Bey *et al.*, 2010). A pesar de los múltiples factores evaluados en el transporte de As (V), aún no se ha considerado el efecto del plastificante. Comprender este proceso es uno de los propósitos de esta investigación. Por otro lado, debido a las múltiples variables interrelacionadas en este transporte es necesario la aplicación de métodos que puedan procesarlas simultáneamente como las metodologías de superficie de respuesta (RSM) (Silas *et al.*, 2016). En este estudio, un sistema de PIMs con cuatro variables se optimizó para mejorar el transporte de As (V) utilizando un diseño Matrix Doehlert, basado en RSM, junto con la función de deseabilidad de Derringer.

## Materiales y Métodos

Las membranas se prepararon utilizando un procedimiento descrito en trabajos previos (Rodríguez De San Miguel *et al.*, 2007). Se aplicó el diseño de experimento denominado matriz Doehlert. Para analizar esta matriz se utilizó el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.

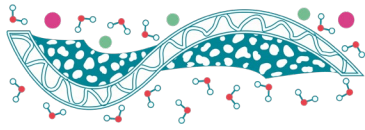
## Resultados y Discusiones



**Figura 1.** Gráficos de Pareto para los efectos estandarizados de (a)  $P_{Feed}$ , (b)  $P_{Strip}$  y (c)  $\Delta pH$  en la solución de alimentación después de 24 h.

En las Figuras 1a y 1b se observa que los factores que influyen principalmente en la permeabilidad de la solución de alimentación ( $P_{Feed}$ ) y de recuperación ( $P_{Strip}$ ) son las cantidades de A336 y TEHP. De hecho, se ha reportado que el proceso de transporte está controlado por la concentración del portador





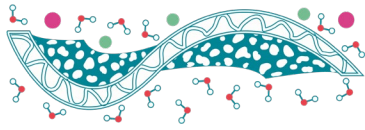
(Fontàs *et al.*, 2007). El contenido de TEHP es el factor que más influye en la  $\Delta\text{pH}$  (Figura 1c) debido a que el plastificante promueve la agregación del complejo A336-HCl, disminuyendo la migración del ácido (Subba Rao *et al.*, 2002). Con el propósito de optimizar todos los factores simultáneamente se desarrolló una DF considerando la respuesta máxima de  $P_{\text{Feed}}$ ,  $P_{\text{Strip}}$  y la respuesta mínima de  $\Delta\text{pH}$ . Se encontró que las condiciones químicas de la membrana con composición de 22% CTA, 48% A336 y 30% TEHP, cumple con los parámetros establecidos. La solución de la recuperación utilizada fue HCl 0.1 mol/L y la  $\Delta\text{pH}$  observada fue 0.965.

## Conclusiones

Este estudio muestra la posibilidad de utilizar algunos métodos quimiométricos para optimizar el transporte de iones As (V). Se determinó que la membrana con composición de 22% CTA, 48% A336 y 30% TEHP es ideal para el transporte de iones As (V), minimizando el  $\Delta\text{pH}$  del medio de alimentación. Sobre la base de los experimentos realizados, se sugiere que las PIMs pueden tener diferentes aplicaciones, principalmente, en el tratamiento de aguas residuales y naturales, permitiendo monitorear los niveles del metaloide.

## Referencias

- Bey S., Criscuoli A., Figoli A., Leopold A., Simone S., Benamor M., Drioli E. (2010). *Removal of As(V) by PVDF hollow fibers membrane contactors using Aliquat-336 as extractant. Desalination*, **264**, 193-200.
- Cascaret-Carmenaty D. A., Calzado-Lamela O., Pérez-Silva R. M. (2014). *Determinación de la capacidad de adsorción de cromo (VI) por biomasa bacteriana. Rev. Cub. Quím.*, **26**, 215-224.
- Fontàs C., Tayeb R., Dhahbi M., Gaudichet E., ThomINETTE F., Roy P., Steenkeste K., Fontaine-Aupart M.-P., Tingry S., Tronel-Peyroz E., Seta P. (2007). *Polymer inclusion membranes: The concept of fixed sites membrane revised. J. Membr. Sci.*, **290**, 62-72.
- Rodríguez De San Miguel E., Garduño-García A. V., Aguilar J. C., De Gyves J. (2007). *Gold(III) Transport through Polymer Inclusion Membranes: Efficiency Factors and Pertraction Mechanism Using Kelex 100 as Carrier. Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**, 2861-2869.
- Silas S., Sailaja D., Rao G. (2016). *Doehlert 4-Variable Design for the Optimization of Lead Biosorption Using Activated Carbon Derived From Palm Kernel Cake. Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, **5**, 1-12.
- Subba Rao R. V., Sivakumar P., Natarajan R., Vasudeva Rao P. R. (2002). *Effect of Aliquat 336 concentration on transportation of hydrochloric acid across supported liquid membrane. 252*, 95-98.



## Diseño y optimización de un Sistema de Electrodiálisis Inversa para la obtención de energía en escala laboratorio.

D.A.T. Barrón Brambila<sup>1</sup>, J.S. Jaime Ferrer<sup>2</sup>, L. Villafaña López<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas

<sup>2</sup> Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas

\* E-mail: lvillafana@ciatec.mx

**Palabras clave:** Energía azul; Electrodiálisis Inversa; Generación de energía; Diseño funcional;

### Introducción

La generación de energía es fundamental para todos los grandes desafíos que el mundo enfrenta actualmente, esto debido principalmente a la alta tasa de consumo, al crecimiento constante de la población y al agotamiento de fuentes de energía no renovables. Existen un gran número de propuestas que son utilizadas como opción para resolver este problema, fomentando la reducción del uso de energías fósiles. Específicamente, en este trabajo nos interesamos en la energía que se produce durante la mezcla del agua de mar y el agua de río en las desembocaduras, es decir, extraer el potencial termodinámico de la mezcla de dos soluciones salinas. Una de las técnicas que puede extraer este potencial es la electrodiálisis inversa (EDI), la cual utiliza membranas de intercambio iónico para controlar el proceso. Para poder mejorar esta técnica es necesario reducir el consumo energético del sistema de bombeo, el cual permite la recirculación de las soluciones, por lo que en este trabajo primero se comparan los sistemas de bombeo centrífugo y gravitacional, y después se propone una nueva configuración en el sistema de bombeo para reducir su consumo energético.

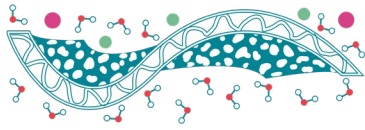
### Materiales y Métodos

Se utilizó una celda de electrodiálisis PCCell ED 200 con un área específica de membrana de 207 cm<sup>2</sup>, con un arreglo de 10 celdas. Se utilizaron soluciones sintéticas similares a las encontradas en aguas mexicanas (Agua de río ~ 0.5 a 1 g/L; Agua de mar ~ 35 a 39 g/L). Para el sistema asistido con bombas se utilizaron flujos del orden de 150 ml/s para el diluido y de 109 ml/s para el concentrado. Para el sistema por gravedad se tuvieron flujos de 2.85 ml/s y 2.24 ml/s para el diluido y concentrado respectivamente.

Los parámetros evaluados son flujos, potencia bruta teórica obtenida, potencia neta teórica obtenida, y diferencia de concentraciones en las soluciones.

### Resultados y Discusiones

El diseño del sistema con bombeo por bombas centrífugas aporta más potencia bruta, pero solo una tercera parte puede considerarse como ganancia debido a que, además de la bomba centrífuga de 2.983 W que comparte con el modelo de flujo por gravedad para la recirculación del electrolito, usa dos bombas de 96 W cada una para crear un alto caudal de entrada por la celda de membranas. Mientras que el sistema por gravedad mantiene un porcentaje de ganancia teórica de 46.25%, el sistema por bombeo centrífugo únicamente tiene un aprovechamiento teórico de 31.36%. Se utiliza la **Ec 1** (Veerman *et al*, 2009), para determinar el valor de caudal necesario para que la propuesta de diseño de



este trabajo pueda compararse al desempeño mostrado por el sistema de bombeo centrífugo en potencia neta, si suponemos una relación de caudales entre agua de río y agua de mar de 1:1.

$$\Delta G_{RED} = 2 * R * T * \left[ \left( \dot{V}_{rio} * C_{rio} * \ln \left( \frac{C_{rio}}{C_{mezcla}} \right) \right) + \left( \dot{V}_{mar} * C_{mar} * \ln \left( \frac{C_{mar}}{C_{mezcla}} \right) \right) \right] \quad \text{Ec1}$$

En la figura 1 se muestra la relación de producción de energía respecto al flujo de las soluciones a la entrada del sistema.

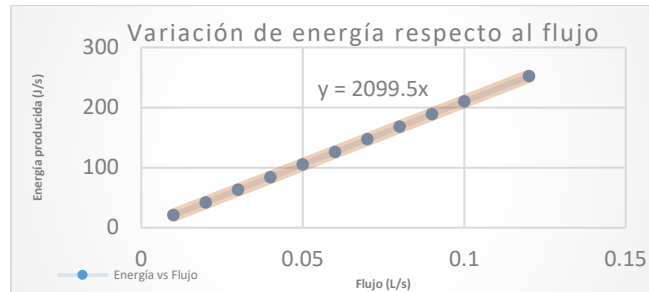
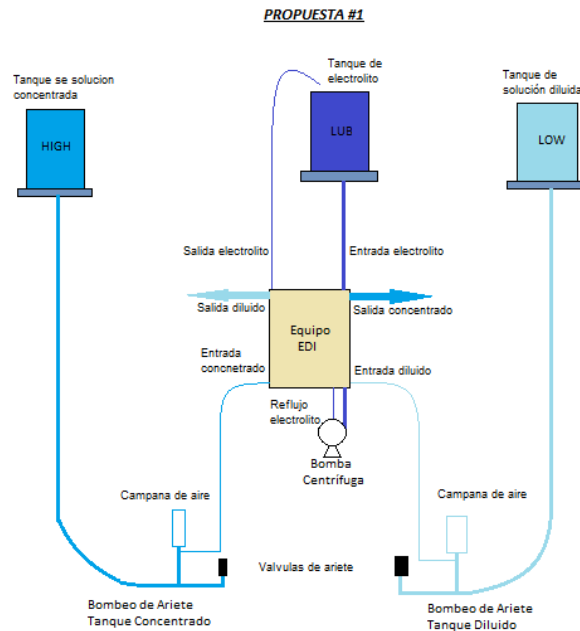
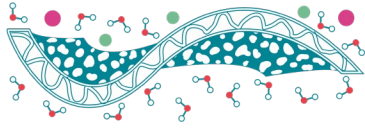


Figura 3.- Energía producida en función del flujo de entrada.

Con la pendiente se puede obtener el valor del caudal mínimo necesario para conseguir la misma generación de potencia teórica que el modelo de bombeo centrífugo para adaptarlo al nuevo diseño.

$$y = 2099.5x; \quad \text{por tanto: } \text{Energía} = 2099.5 * \text{Caudal de entrada} \quad \text{Ec 2}$$

$$\text{Caudal de entrada (L/s)} = \frac{\text{Energía}}{2099.5} = \frac{92.063}{2099.5} = \mathbf{0.044 \text{ L/s}}$$

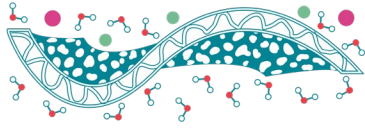


## Conclusiones

Utilizando un arreglo similar al presentado en la Figura 2, el caudal de entrada para las soluciones concentrada y diluida, aumenta lo suficiente para acercarse a la potencia teórica que registra el sistema de bombeo centrífugo, e incluso, el porcentaje teórico de ganancia puede llegar a duplicarse respecto al porcentaje de ganancia del sistema por gravedad bajo las condiciones necesarias de operación. Si este proceso pudiese escalarse, manteniendo en rango aceptable los parámetros de flujo, salinidad y contaminantes, la técnica de EDI podría ser una opción viable.

## Referencias

Veerman, J., Saakes, M., Metz, S. and Harmsen, G. (2009). *Reverse electrodialysis: Performance of a stack with 50 cells on the mixing of sea and river water*. [ebook] Elsevier BV, pp.136 - 144. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738808009794> [Accessed 30 Apr. 2019].



# Simulación dinámica no-isotérmica en 1 dimensión de un módulo de membrana enrollada en espiral de ósmosis inversa

J.E. Murillo López<sup>1</sup>, F. Sánchez Soto<sup>1</sup>, G.A. Fimbres Weihs<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, Cd. Obregón, Sonora, C.P. 85000, México

<sup>2</sup> CONACyT–Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, Cd. Obregón, Sonora, C.P. 85000, México

\* E-mail: gustavo.fimbres@itson.edu.mx

**Palabras clave:** Ósmosis inversa; Simulación dinámica; Modelación; Desalinización; Spiral Wound

## Introducción

La modelación y simulación son la piedra base para optimizar procesos de desalinización por medio de membranas. Sin embargo, los fenómenos fisicoquímicos que ocurren en los módulos de membrana se dan a lo largo de tanto la longitud como del tiempo, por lo que el grado de complejidad y la cantidad de cálculos necesarios es alto (Karabelas *et al.*, 2015). Las simulaciones en dos y tres dimensiones – aunque son más rigurosas– solo logran modelar una parte del módulo y en intervalos de tiempo relativamente cortos, si la simulación es dinámica (Liang *et al.*, 2019). Este trabajo desarrolla una modelación que aprovecha la simplicidad de los modelos unidimensionales, así como el grado de detalle de los modelos multidimensionales, considerando estado transitorio. También se considera operación no-isotérmica, esto para poder simular sistemas de ósmosis inversa (OI) potenciados por sistemas fotovoltaicos con intercambio de calor (FVT), donde el agua de alimentación es usada como fluido de enfriamiento.

## Materiales y Métodos

El modelo dinámico no-isotérmico del módulo de membranas se basa en los balances de materia y energía, considerando estado transitorio y temperatura variable, dando como resultado las siguientes ecuaciones:

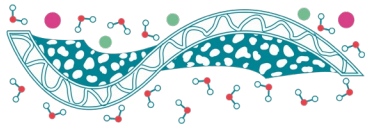
$$\frac{\partial \rho_b}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_b \rho_b) = -Q_p'' \rho_p \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_b w_b) + \frac{\partial}{\partial x}(u_b \rho_b w_b) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \rho_b D_m \left( \frac{\partial w_b}{\partial x} \right) \right] - Q_p'' \rho_p w_p \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_b \hat{H}_b) + \frac{\partial}{\partial x}(u_b \rho_b \hat{H}_b) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D_T \left( \frac{\partial T_b}{\partial x} \right) \right] - Q_p'' \rho_p \hat{H}_p \quad (3)$$

$$\frac{\partial p_b}{\partial x} = -\frac{\rho_b u_b^2}{2d_h \epsilon^2} f \quad (4)$$

Donde la ecuación (1) representa el balance de materia global y se utiliza para determinar el cambio en flujo volumétrico a lo largo del canal; la ecuación (2) representa el balance de materia del soluto y se utiliza para determinar el cambio espacio-temporal de la concentración de sales; la ecuación (3) representa el balance de energía y se utiliza para determinar el cambio espacio-temporal de la temperatura; y la ecuación (4) representa el balance de energía mecánica y se utiliza para determinar la

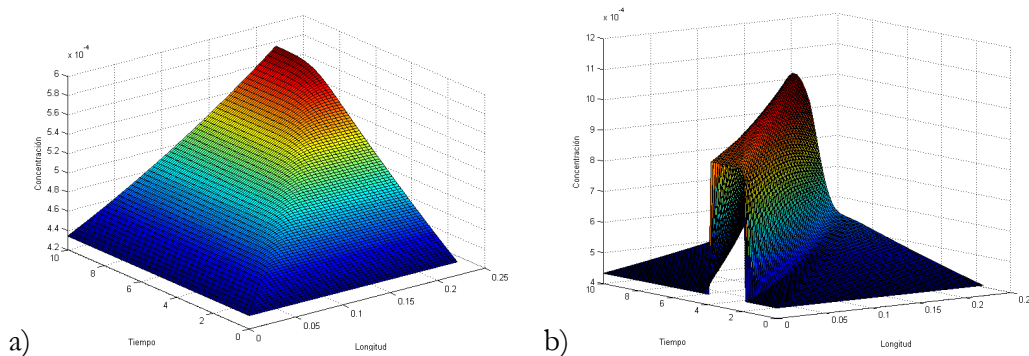


presión a lo largo del módulo. Este sistema de ecuaciones diferenciales parciales es resuelto mediante el método de Euler con diferenciación agua-arriba.

La resolución del sistema involucra ecuaciones auxiliares como las reportadas por Sharqawy *et al.* (2010) para determinar las propiedades físicas del fluido en función de la temperatura, concentración y la presión en el módulo, así como correlaciones que simplifican la segunda dimensión para determinar el coeficiente de transferencia de masa y el factor de fricción.

## Resultados y Discusiones

La simulación es capaz de mostrar el comportamiento dinámico de los distintos factores que afectan la productividad del sistema de OI, tales como la evolución de la concentración de sal a lo largo del módulo de membranas, como se ve en la Figura 1a, así como las demás variables de estado (temperatura, presión, concentración en el permeado, flux de permeado, etc.). De igual forma, permite determinar el comportamiento en respuesta a cambio de condiciones de salinidad, temperatura, presión, etc. del agua de alimentación, como se observa en la Figura 1b para un pulso de concentración en el agua de alimentación.



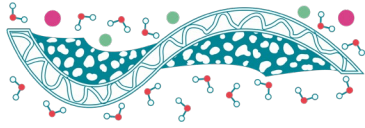
**Figura 1.** Gráfica del comportamiento de la concentración constante de salinidad (fracción másica) de entrada a lo largo de la membrana y de un tiempo de 10 s. b) Gráfica del comportamiento de la concentración de salinidad al recibir un pulso de mayor concentración del segundo 2 al 4

## Conclusiones

Este trabajo es un paso a una mejora a los sistemas robustos de simulación de membranas. A pesar de que por complejidad numérica no se acerca al análisis completo que otros tipos de simulación como CFD entregan, esta opción sobresale en el poco tiempo de procesamiento requerido para obtener resultados, generando una opción confiable para situaciones donde se requiere analizar el comportamiento del sistema en respuesta a cambios dinámicos, o incluso en análisis de campo, como la creación de un controlador que pueda adaptarse a cambios de variables en el proceso que otros modelos no toman en cuenta.

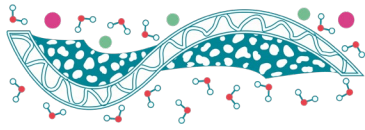
## Referencias

Karabelas A.J., Kostoglou M., Koutsou C.P. (2015). *Modeling of spiral wound membrane desalination modules and plants - review and research priorities*, *Desalination* **356**, 165-186.



Liang Y.Y., Toh K.Y., Fimbres Weihs G.A. (2019). *3D CFD study of the effect of multi-layer spacers on membrane performance under steady flow*, J. Membr. Sci. **580**, 256-267.

Sharqawy M.H., Lienhard V J.H., Zubair S.M. (2010). *The thermophysical properties of seawater: A review of existing correlations and data*, Desalin. Water Treat. **16**, 354-380.



## Validación de software libre para la simulación hidrodinámica con transporte de masa en canales de membranas

J. Moreno Huerta<sup>1</sup>, G.A. Fimbres Weihs<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, Cd. Obregón, Sonora, C.P. 85000, México

<sup>2</sup> CONACyT–Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, Cd. Obregón, Sonora, C.P. 85000, México

\* E-mail: gustavo.fimbres@itson.edu.mx

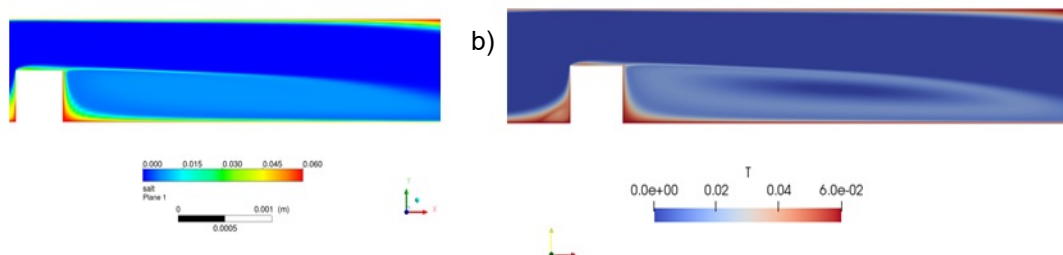
**Palabras clave:** Ósmosis Inversa; CFD; OpenFOAM; CFX; Número de Reynolds.

### Introducción

Durante las últimas décadas los procesos de filtración por membranas han cobrado más importancia en la industria de la desalinización del agua. Un gran número de estudios se han enfocado en la optimización de la ósmosis inversa. Aunque el objetivo de mayor importancia es encontrar las condiciones óptimas de operación, existen diversos aspectos que han obstaculizado el desarrollo de esta tecnología; uno de los más importantes es el entendimiento de ensuciamiento de la membrana y el consecuente decaimiento del flux de permeado (Ghidossi *et al.*, 2006). Actualmente la simulación de Dinámica de Fluidos por Computadora (CFD, por sus siglas en inglés) se ha vuelto una herramienta útil en la comprensión de lo que sucede dentro de los módulos de ósmosis inversa, ya que con ella es posible analizar los fenómenos que se manifiestan en pequeños canales delgados de membranas con obstrucciones, examinando los gradientes de velocidad y concentración en diferentes puntos (Fimbres-Weihs & Wiley, 2010). A pesar de su utilidad, el costo de la licencia de paquetes de software para realizar CFD muchas veces resulta limitante. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la viabilidad del software OpenFOAM (software de licencia gratuita) en la simulación de canales de membranas comparando resultados con el software ANSYS-CFX (licencia comercial).

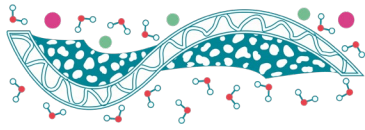
### Materiales y Métodos

Las simulaciones de canales de membranas a diferentes valores del número de Reynolds fueron realizadas bajo el sistema operativo de la distribución de Linux, Rocks 7.0 Manzanita, instalado en un servidor con 12 núcleos de procesamiento y 32 GB de RAM. Los análisis en el dominio de la geometría de canal de membranas con una obstrucción cuadrada, se basaron en la comparación de la hidrodinámica del fluido en dicho canal y la transferencia de masa en diferentes secciones en base a los resultados generados por OpenFOAM y ANSYS-CFX. La Figura 1 muestra la geometría y un ejemplo de solución de concentración de sal obtenidas por ambos paquetes de software.



**Figura 1.** Resultados de transferencia de masa en canales de membranas utilizando a) ANSYS-CFX y b) OpenFOAM.





## Resultados y Discusiones

La Tabla 1 muestra la comparación de resultados obtenidos para transferencia de masa, en términos del error relativo de OpenFOAM en referencia a los resultados de ANSYS-CFX.

**Tabla 2.** Comparación de resultados de transferencia de masa en geometría de 75,000 elementos.

Error CFX-OF	Re=900	Re=550	Re=200
Membrana inferior, entrada	10.7%	21.6%	14.6%
Membrana inferior, salida	4.9%	7.9%	10.8%
Membrana superior	8.1%	6.0%	8.1%
Media Cuadrática	8.2%	13.7%	11.5%

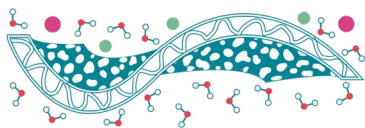
Los resultados obtenidos demuestran la variación entre ambos paquetes en la resolución de las ecuaciones de transporte. Como es posible observar en la Tabla 1 el error en transferencia de masa tiende a aumentar conforme el número de Reynolds disminuye. Esto se puede deber al aumento del tiempo de residencia del fluido dentro del canal. Por otro lado, error también está relacionado con los métodos utilizados para obtener los valores de los gradientes de concentración en OpenFOAM, ya que dichos gradientes se estimaron tomando el valor de la concentración en la celda adyacente a la membrana, mientras que ANSYS-CFX ofrece al usuario la opción entre sus herramientas para calcular dicho valor.

## Conclusiones

El presente trabajo presenta una metodología para validar la confiabilidad de OpenFOAM para la simulación de dinámica de fluidos dentro de canales de membranas. Los datos sugieren que es necesario mayor refinación para obtener una precisión similar a la de un software comercial. No obstante, la relevancia y el grado de exactitud del software libre y el software comercial tiene diversas implicaciones. Por ejemplo, OpenFOAM al ser un software de código abierto, permite al usuario editar las ecuaciones de transporte a su preferencia, incorporar modelos modificados, disminuir costos de simulaciones, etc. Por su parte el software ANSYS-CFX es un software comercial con el cual se han realizado simulaciones de canales de membranas en trabajos anteriores y se ha demostrado con datos experimentales que posee la capacidad de simular las condiciones de canales de membranas (Fimbres Weihs & Wiley, 2014); sin embargo, el requerimiento de una licencia y el código cerrado del programa, son limitantes que restringen su practicidad.

## Referencias

- Fimbres-Weihs G.A., Wiley D.E. (2010). *Review of 3D CFD modelling of flow and mass transfer in narrow spacer-filled channels in membrane modules*, *Chem. Eng. Process.: Process Intens.* **49**, 759-781.
- Fimbres Weihs G.A., Wiley D.E. (2014). CFD analysis of tracer response technique under cake-enhanced osmotic pressure, *J. Membr. Sci.* **449**, 38-49.
- Ghidossi R., Veyret D., Moulin P. (2006). Computational fluid dynamics applied to membranes: State of the art and opportunities, *Chem. Eng. Process.* **45**, 437-454.



## Síntesis de membranas inorgánicas 75 % $\text{Ce}_{0.85}\text{Gd}_{0.1}\text{Cu}_{0.05}\text{O}_{2-\delta}$ -25% $\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$ –carbonato con propiedades de permeación de $\text{CO}_2/\text{O}_2$ a altas temperaturas}

R. Ortega Lugo<sup>a</sup>, J. Ortiz Landeros<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas México. \*E-mail: [jortizla@ipn.mx](mailto:jortizla@ipn.mx)

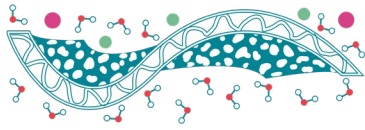
**Palabras clave:** membrana bifásica, membrana cerámico-carbonato; separación de  $\text{CO}_2/\text{O}_2$

### Introducción

Las grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  y otros gases de efecto invernadero de origen antropogénico que actualmente son emitidas a la atmósfera constituyen una importante problemática energética-medioambiental debido a su repercusión en el sistema climático y en la salud de las poblaciones; es por lo anterior que se han planteado diferentes estrategias para su mitigación. Una opción atractiva es la separación selectiva del  $\text{CO}_2$  de fuentes estacionarias y su posterior uso como materia prima para la fabricación de químicos e incluso energéticos como el  $\text{H}_2$  y *syngas* (Gaura, 2017). En los últimos años, se ha propuesto el uso y aplicación de membranas densas para la separación selectiva de  $\text{CO}_2$  a altas temperaturas a partir de fuentes estacionarias. A estas membranas se les conoce como membranas bifásicas cerámico-carbonato, en las cuales el mecanismo de separación de  $\text{CO}_2$ , involucra el transporte de iones  $\text{O}^{2-}$  a través de la fase cerámica. De ésta forma el presente trabajo de investigación tiene como objetivo el desarrollo de membranas densas bifásicas por infiltración directa de una fase cerámico tipo compuesto fluorita-perovskita 75 %  $\text{Ce}_{0.85}\text{Gd}_{0.1}\text{Cu}_{0.05}\text{O}_{2-\delta}$ -25%  $\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$  (75CGCO-25LCF en su forma abreviada) con una mezcla eutéctica de carbonatos fundidos. Cabe mencionar que el sistema cerámico 75CGCO-25LCF, ya ha sido reportado por algunos investigadores, en la fabricación de membranas densas de tipo compuesto para la separación de  $\text{O}_2$  a alta temperatura, el cual presenta buena estabilidad térmica, buena estabilidad química, y altos valores de permeación de  $\text{O}_2$  en comparación con otros sistemas cerámicos (Fang et al., 2015).

### Materiales y Métodos

Los polvos del material cerámico 75 %  $\text{Ce}_{0.85}\text{Gd}_{0.1}\text{Cu}_{0.05}\text{O}_{2-\delta}$ -25%  $\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$  (75CGCO-25LCF) se prepararon vía método EDTA-citrato precursor a partir de los nitratos metálicos correspondientes. Se utilizó ácido cítrico anhidro 99% (Marca Meyer) y EDTA 99% (Marca Meyer). La fabricación de los soportes del compuesto 75CGCO-25LCF se llevó a cabo mediante la compactación por prensado uniaxial y sinterización de polvos. Inicialmente se mezclaron 2.5 gramos de polvos previamente calcinados a  $600^\circ\text{C}$  durante 10 horas. La sinterización de los soportes porosos se llevó a cabo en un horno de alta temperatura marca Nabertherm Modelo N100 E a  $900^\circ\text{C}$  durante 10 horas. Se programó una rampa de calentamiento de  $2^\circ\text{C}/\text{min}$  para el intervalo  $30$ - $600^\circ\text{C}$ , posteriormente se continuo el calentamiento a  $1^\circ\text{C}/\text{min}$  hasta  $900^\circ\text{C}$ . La fabricación de las membranas bifásicas, se llevó a cabo por el método de infiltración directa en carbonatos fundidos,



para lo cual se empleó una mezcla de los siguientes carbonatos:  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  42.5% mol,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  32.5% mol y  $\text{K}_2\text{CO}_3$  25% mol.

## Resultados y Discusiones

La membrana bifásica 75CGCO-25LCF-carbonato que fue obtenida se caracterizó por medio de Microscopía Electrónica de Barrido a través de electrones secundarios (Figura 1). En éstas imágenes se observó que ésta membrana, presenta una distribución homogénea, no muestra la presencia de grietas y se observa que la porosidad abierta e interconectada, fue ocupada por los carbonatos fundidos. Por otra parte, fué evaluada la permeación de la membrana bifásica 75CGCO-25LCF-carbonato a altas temperaturas (850, 875, 900, 915, 940°C) por medio de Cromatografía de Gases, cuyo desempeño en cuanto a permeación de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  se muestra en la Figura 2. En ésta figuras se observa el comportamiento característico ya reportado para membranas tipo compuesto y bifásicas cerámico-carbonato, es decir, el aumento de los valores de permeación ( $J_{\text{O}_2}$  y  $J_{\text{CO}_2}$ ) a medida que la temperatura también se incrementa, lo cual confirma que el mecanismo de difusión de las especies es activado térmicamente.

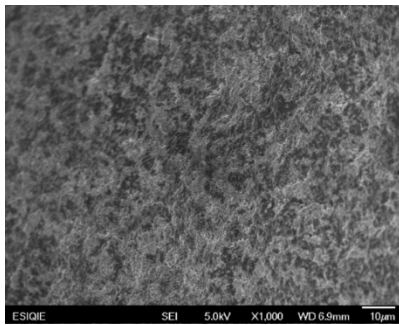


Figura 1. Imágenes de MEB de una membrana bifásica cerámico-carbonato obtenida por la síntesis de la membrana bifásica cerámico-carbonato.

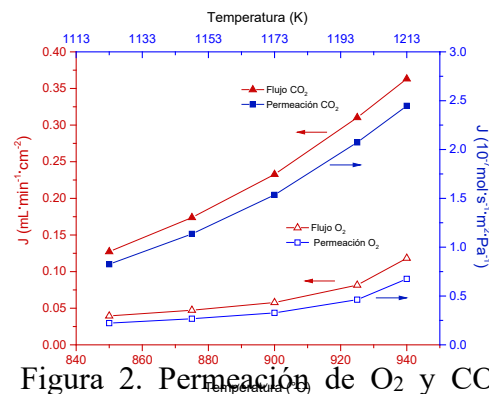


Figura 2. Permeación de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  a través de la membrana bifásica 75CGCO-25LCF-carbonato

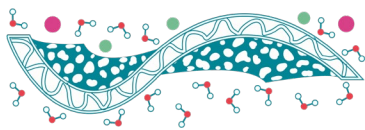
## Conclusiones

Los resultados por Cromatografía de Gases, muestran que los flujos de permeación para  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  son relativamente altos en el orden  $10^{-8}$  y  $10^{-7}$  mol Pa  $\text{s}^{-1}$   $\text{m}^{-2}$  respectivamente, dentro de un rango de temperatura 850-940°C. En conclusión general, se puede decir que el sistema de membrana bifásico 75CGCO-25LCF-carbonato que se obtuvo en éste proyecto, presenta características y propiedades con alto potencial para la fabricación de reactores de membrana que permitan producir y/o purificar *syngas* ó aplicable a procesos de control de emisiones como oxy-combustión.

## Referencias

Fang, W.; Liang, F. Y., Cao, Z. W. (2015) Steinbach, F.; Feldhoff, A. A Mixed Ionic and Electronic Conducting Dual-Phase Membrane with High Oxygen Permeability. *Angew. Chem., Int. Ed.*, 54, 4847–4850

Gaurav Nahar (2017). Hydrogen production from reforming of biogas: Review of technological advances and an Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76 1032–1052



## Sitios de nucleación de nanopartículas de plata utilizando membrana funcionalizada

R.M. Gómez-Espinosa<sup>1\*</sup>, A.L. Mendieta-Jimenez<sup>1</sup>, P. Carpio-Martínez<sup>2</sup>, U. Hernández-Balderas<sup>2</sup>, F. Cortés-Guzmán<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM. Facultad de Química UAEM. Carretera Toluca-Atacomulco km 14.5, C.P. 50200, San Cayetano, Toluca, Estado de México.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM. Instituto de Química UNAM. Carretera Toluca-Atacomulco km 14.5, C.P. 50200, San Cayetano, Toluca, Estado de México.

\* E-mail:rosamarigo@gmail.com

**Palabras clave:** nanopartículas, funcionalización, polipropileno.

### Introducción

Actualmente se están utilizando membranas poliméricas funcionalizadas como soporte de nanopartículas metálicas. En el presente trabajo se describe un método fácil para modificar la membrana de polipropileno a través de polimerización por injerto, el cual incluye la adsorción del Clorometilfenilvinilsilano (CMFVS) en la superficie de la membrana utilizando radiación Uv. Después se sintetizan las partículas metálicas de plata sobre la superficie en la membrana modificada y dispersas en el material, utilizando el método de impregnación-reducción. La caracterización se realizó usando FT-IR-ATR, RMN <sup>1</sup>H, SEM-EDS.

### Polipropileno

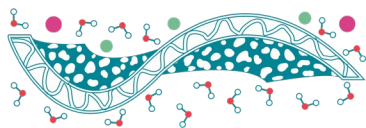
Los materiales poliméricos utilizados en la preparación de las membranas son diversos y su selección no es arbitraria; sino que depende de las necesidades de la aplicación para la que están destinadas <sup>1</sup>. El polipropileno es un polímero lineal, el monómero que origina al polipropileno es el propileno, el cual tiene poca densidad (0.90 g/cm<sup>3</sup>) y en comparación con otros plásticos comerciales es el que presenta la densidad más baja; presenta un alto punto de fusión (168 -171 °C)<sup>2</sup>.

### Polimerización interfacial

La polimerización interfacial permite depositar una capa polimérica delgada sobre un soporte poroso. En este caso la polimerización tiene lugar a través de una reacción de dos monómeros muy reactivos en la interfase de dos disolventes inmiscibles. La capa que ejerce de soporte se impregna, habitualmente por inmersión, de una solución acuosa que contienen uno de los monómeros (frecuentemente del tipo amina). A continuación, el soporte se pone en contacto con una solución del otro monómero en un disolvente inmiscible en agua (por ejemplo; hexano)<sup>3</sup>.

### Materiales y Métodos

En el presente proyecto se realizó la modificación de la membrana de polipropileno comercial en tres etapas: 1) La primera etapa consiste en la síntesis del monómero de clorometilfenilvinilsilano; 2) La segunda etapa es la modificación de la membrana de polipropileno polimerizando el monómero *in situ* en la membrana. La etapa 1 y 2, se realizará con la técnica de polimerización por injerto utilizando radiación Uv. 3) En la tercera etapa se sintetizaron las partículas metálicas en la membrana modificada usando el método de impregnación-reducción. Caracterizando con FT-IR-ATR, RMN <sup>1</sup>H, SEM-EDS.



## Resultados y Discusiones

La síntesis del monómero se realiza mediante una reacción de dos pasos, el primer paso es la reducción química del diclorometilfenilsilano con hidruro de litio y aluminio ( $\text{LiAlH}_4$ ) en presencia de éter anhidro. El segundo paso consiste en la reacción del metilfenilsilano, el diclorometilfenilsilano y el divinilbenceno (DVB) para la obtención del monómero de clorometilfenilvinilsilano (CMFVS).

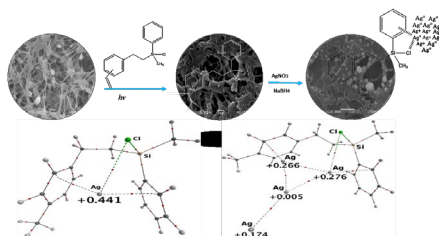


Figura 1. Sitios de nucleación de nanopartículas de plata en membrana modificada.

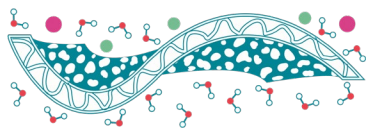
La reacción de polimerización del monómero de clorometilfenilvinilsilano se lleva a cabo con la adición de DVB y DMPA al monómero. Las partículas metálicas de Ag son depositadas utilizando el método de impregnación de iones metálicos-reducción química, partiendo de  $\text{AgNO}_3$  5mM en solución y la reducción con  $\text{NaBH}_4/\text{H}_2\text{O}$  al 0.1 % en peso. Figura 1.

## Conclusiones

La membrana de polipropileno sin modificar no funciona como soporte de las partículas metálicas de Ag, debido a que únicamente se observan escasos aglomerados. En cambio la polimerización interfacial permite la modificación de la membrana de polipropileno con CMFVS y el crecimiento de las partículas de Ag presentan una mayor estabilidad y dispersión sobre el material, logrando con ello una forma esférica definida. Por lo que, la membrana de polipropileno modificada genera los sitios de nucleación de las nanopartículas metálicas soportándolas en la matriz polimérica proporcionando estabilidad química.

## Referencias

- 1.- Wang K., Zhou C., Zhang H. and Zhao D., *Modification of polypropylene by melting vibration blending with ultra high molecular weight polyethylene*. *Adv. Polym. Technol.*, **2002**,21, 164-176.
- 2.- Rajesh S , Tyler B. H. , and Jennifer S. *Versatile solid phase synthesis of gold nanoparticles dimmers using an asymmetric functionalization approach*. *JACS Communications*. **2007**, 117. 5356-5357.
- 3.- Korikov A.P., Kosaraju P.B and Sirkar K.K., *Interfacially polymerized hydrophilic microporous thin film composite membranes on porous polypropylene hollow fibers and flat films*. *J. Membrane Sci.*, **2006**, 279, 589-591.



## Puntos cuánticos de carbono a partir de isómeros de fenildiamina inmovilizados en membranas de polipropileno modificada

J.M. Díaz Hernández<sup>1</sup>, R. Hernández García<sup>1</sup>, F. I. López-Elías<sup>1</sup>, B.D. Morales-Almaraz<sup>1</sup>, R.M. Gómez Espinosa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM. Facultad de Química UAEM. Carretera Toluca-Atlacomulco km 14.5, C.P. 50200, San Cayetano, Toluca, Estado de México.

\* E-mail: autor.de.correspondencia [rosamarigo@gmail.com](mailto:rosamarigo@gmail.com)

**Palabras clave:** Puntos cuánticos de carbono (PPC); fenildiamina, polipropileno, solvotermal luminiscencia.

### Introducción

Las estructuras y componentes de los puntos cuánticos de carbono determinan sus diversas propiedades físicas y químicas. Los puntos cuánticos generalmente se encuentran en solución y es un reto para los investigadores, soportarlos en matrices poliméricas, se pretende que al tenerlos inmovilizados puedan ser caracterizados, proporcionando estabilidad a las partículas generadas.

Los Puntos Cuánticos de Carbono se consideran nanocristales fotoestables, monocromáticos y brillantes, estas características le otorgan versatilidad analítica y sensibilidad a nivel de molécula única, por lo que pueden ser utilizados como sensores.

Los puntos cuánticos de carbono a base de isómeros (*orto*, *meta* y *para*) de fenildiamina han mostrado una fuerte luminiscencia y son obtenidos a través de una síntesis muy sencilla utilizando el método solvotermal. El *meta*-fenildiamina presenta una luminiscencia color azul, el *orto*-fenildiamina muestra luminiscencia verde y *para*-fenildiamina, muestran una luminiscencia roja, estos colores antes de ser inmovilizados en la matriz polimérica de polipropileno.

### Materiales y Métodos

Los materiales utilizados son *m*-fenildiamina, *o*-fenildiamina, *p*-fenildiamina, etanol, membranas de polipropileno funcionalizadas con ácido acrílico (polipropileno-AA), parrilla electromagnética y autoclave.

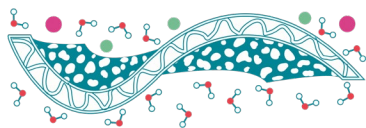
#### ***Inmovilización de puntos cuánticos de carbono en membranas de polipropileno-AA.***

Se prepararon soluciones 1:1 volumen/peso de alguno de los isómeros (*orto*, *para* o *meta*) de fenildiamina con etanol, se agita hasta disolver y se adiciona junto con una membrana de polipropileno-AA en el autoclave para llevar a cabo la reacción por medio del método solvotermal a una temperatura de 180°C durante 12 horas; pasado este tiempo las membranas se secan a vacío hasta peso constante.

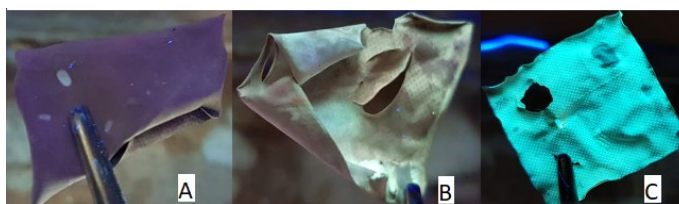
#### ***Caracterización***

Se hace uso de la técnica FT-IR-ATR para la identificación de los grupos funcionales y su efecto en la membrana modificada

### Resultados y Discusiones

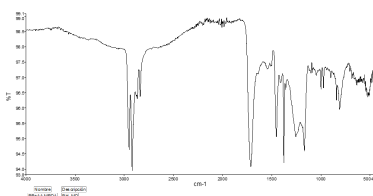


Las membranas obtenidas muestran diferentes luminiscencias dependiendo del isómero de donde provengan, al aplicar luz UV a una longitud de onda de 254 nm, se observaron luminiscencias de color violeta, amarillo y verde para *p*-fenildiamina, *o*-fenildiamina y *m*-fenildiamina, respectivamente, inmovilizados en membrana modificada de polipropileno.

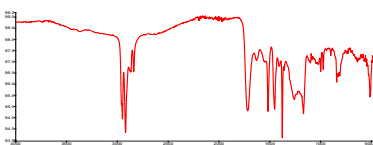


**Figura 1.** Puntos cuánticos de carbono inmovilizados en polipropileno modificado (polipropileno-AA) a base de isómeros de difenilamina; **A)** *p*-fenildiamina, y **B)** *o*-fenildiamina **C)** *m*-fenildiamina, bajo luz UV.

Las membranas modificadas fueron caracterizadas por espectroscópica FT-IR-ATR debido a que con esta técnica se pueden apreciar los grupos funcionales provenientes de la membrana modificada y las diferencias al soportar los diferentes isómeros. Se puede observar las vibraciones correspondientes C-C 2990-2900  $\text{cm}^{-1}$ , C=O, C-N 1715-1650  $\text{cm}^{-1}$  y C-O 1336-1384  $\text{cm}^{-1}$ .



**Figura 2.** FT-IR-ATR PPC a partir de *m*-fenildiamina inmovilizados en membranas de polipropileno-AA.



**Figura 3.** FT-IR-ATR PPC a partir de *p*-fenildiamina inmovilizados en membranas de polipropileno-AA.

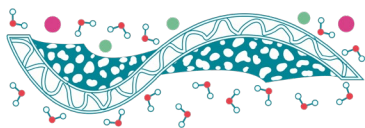
Es importante mencionar que los puntos cuánticos de carbono provenientes de isómeros de fenildiamina soportados en membrana modificada de polipropileno, requieren de una caracterización completa; tal es el caso de UV-reflectancia difusa, fluorescencia, XPS, SEM-EDS, pero preliminarmente se corrobora la inmovilización utilizando la lámpara de luz ultravioleta a 254 nm y el equipo de FT-IR-ATR.

## Conclusiones

Se logró la inmovilización de los puntos cuánticos de carbono de isómeros de fenildiamina utilizando membrana de polipropileno modificada con ácido acrílico y se caracterizaron por espectroscopia FT-IR-ATR.

## Referencias

- Jiang K, Sun S, Zhang L et al.,(2015), *Red, Green, and Blue Luminescence by Carbon Dots: Full-color, Emission Tuning and Multicolor Cellular Imaging*, Angewandte Chemie, International Edition **54**. 5360-5363



## ULTRAFILTRACION ASISTIDA POR POLIMEROS PARA LA CONCENTRACION DE COLORANTES

P.A. Salazar Marconi<sup>1</sup>, J.V. Espinoza Urrutia<sup>1</sup>, A.C. Lulion Castillo<sup>1</sup>, V. A. Maria Donoso<sup>1</sup>, J.A. Sanchez Poblete<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias del Ambiente, Facultad de Química y Biología, Universidad de Santiago. Santiago, Chile

\* E-mail: paula.salazar.m@usach.cl

**Palabras clave:** Ultrafiltración; Polímeros; Remediación.

### Introducción

Los colorantes son contaminantes que presentan estabilidad y dificultan su biodegradación por lo que son difíciles de eliminar de los efluentes productos de la industria textil (Robinson et al 2001). Además esta contaminación está asociada a graves problemas de salud al encontrarse que liberan especies cancerígenas. Debido a sus propiedades tóxicas, pueden contribuir en la falla de procesos biológicos en plantas de tratamiento de aguas residuales (Forgacs *et al* 2004).

Esta investigación se basa en la utilización de polímeros de intercambio iónico, como el poli(ácido 2-acrilamida-2-metil-1-propansulfónico), PAMPS y cloruro de poli(dialil dimetil amonio), PDDA en la remoción y concentración de colorantes como el azul de metileno (MB) y el anaranjado de metilo (MO) utilizando una membrana de ultrafiltración como filtro.

En este estudio se evaluaron diferentes parámetros asociados a la concentración de MB y MO como por ejemplo la utilización de diferentes pHs, distintas concentraciones de polímero y de colorante. Adicionalmente se realizaron estudios de concentración de MB y MO en presencia de diferentes sales interferentes con la finalidad de evaluar el efecto de la fuerza iónica en la solución.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante la técnica de RFLP, los colorantes interactúan con polímeros sintetizados mediante vía radicalaria dentro de una celda de ultrafiltración, el cual es sometido a una diferencia de presión para traspasar una membrana RC quedando retenido en esta, la interacción del polímero con el colorante y eliminando como filtrado lo que no es retenido (Rivas *et al* 2011).

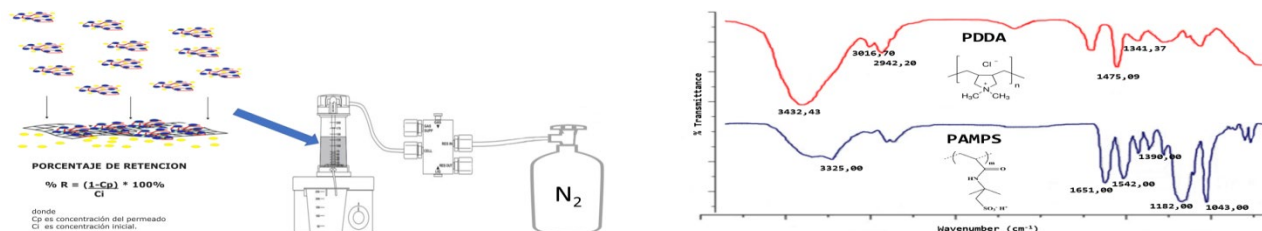
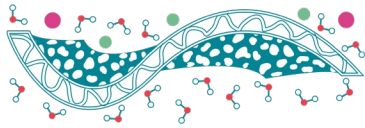


Figura 1.- Principio de la técnica de ultrafiltración asistida por polímero e instrumentación y Espectroscopia Infrarroja de polímero PDDA y PAMPS.





## Resultados y Discusiones

Los resultados obtenidos nos indican que para el caso del PAMPS se obtiene una retención aproximada de 90% de MB y para el PDDA una retención del 60% de MO. Ambos casos son trabajados en condiciones de pH 6, una razón molar de polímero:colorante de 10:1 y membrana RC de 10 KDa. En cuanto al efecto a las sales interferentes, la remoción de MB por PAMPS presenta mayor interferencia en presencia de NaCl mientras que para el MO la remoción con PDDA, presenta una mayor interferencia con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Figura 2).

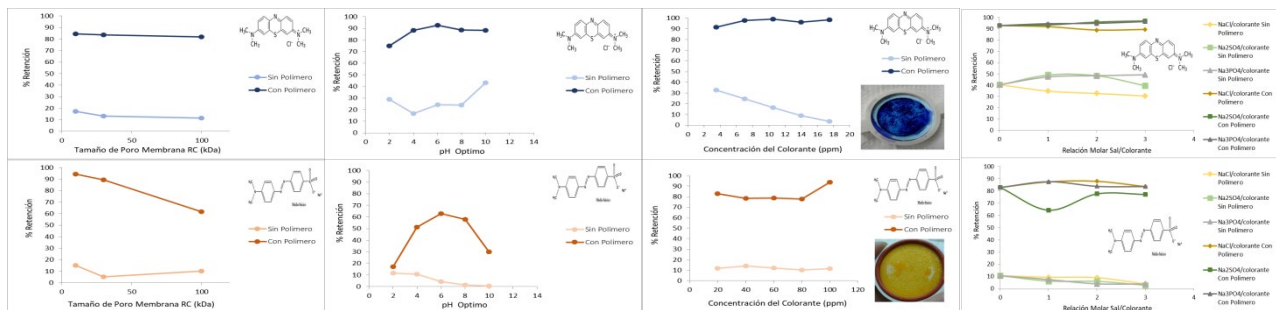


Figura 2: Perfil de Retención en diferentes tamaños de poro de Membrana RC, pH, concentración de colorantes y relación molar de sal/colorante.

## Conclusiones

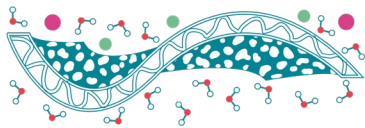
Estos resultados pueden ser prometedores para el desarrollo de tecnologías de concentración de colorantes para ser usados en la remediación de las aguas.

## Referencias

Robinson T., McMullan G., Marchant R., Nigam P. (2001). *Remediation of dyes in textile: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative*, *Bioresource Technol.* **77** 247-255.

Forgacs E., Cserhati T., Oros G. (2004). *Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review*, *Environ. Int.* **30** 953-971.

Rivas B.L., Pereira E., Palancia M., Sanchez J. (2011). *Water-soluble functional polymers in conjunction with membranes to remove pollutant ions from aqueous solutions*, *Prog. Polym. Sci.* **36** 294-322



## Purificación de biodiésel y separación de monoglicéridos de la catálisis enzimática de grasa y aceite residual empleando tecnología de membranas

J. Gargallo Estrada<sup>1</sup>, V.G. Tacias Pascacio<sup>2</sup>, B. Torrestiana Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, TNM- IT- Veracruz, Av. M. A. de Quevedo 2779, Veracruz, Ver. 91860, México.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente 1150, Ciudad Universitaria, Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México CP. 29000

**Palabras clave:** Microfiltración; Ultrafiltración; Poliméricas; Cerámicas;

### Introducción

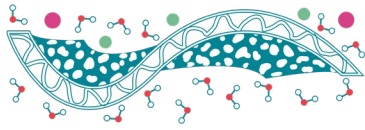
Actualmente el proceso productivo de biodiésel está fuertemente supeditada a los aceites comestibles refinados, ya que el catalizador alcalino (hidróxido de potasio) utilizado para la reacción de transesterificación, requiere una materia prima con bajo contenido de ácidos grasos libres (0.5% - 3.0% peso total) y humedad (0.3% peso total), para evitar la saponificación (Guo *et al.*, 2015). Por otra parte, la rentabilidad del proceso está comprometida por la sobre oferta del glicerol, subproducto de la reacción, ya que es necesaria su posterior purificación para su utilización como intermediario (Ayoub *et al.*, 2012). En la literatura (Caballero *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2010) se ha reportado la obtención de biodiésel libre de glicerol con el uso de biocatalizadores de lipasa de *Thermomyces lanuginosus*, inmovilizada en diferentes soportes. Esto se debe a la regioespecificidad sn-1,3 de la enzima en la molécula de triglicérido (Guisan, 2006), por lo que a cambio de glicerol, los productos secundarios son el 2-monoacilglicerol y 1-3-diacilglicerol. En nuestro grupo de trabajo, Tacias *et al.* (2017), utilizaron un biocatalizador de lipasa de *Thermomyces lanuginosus* inmovilizada en octadecil metacrilato, para la catálisis de una mezcla de grasas y aceites residuales, obteniendo un rendimiento de 79% de FAMEs (ésteres metílicos de ácidos grasos, por sus siglas en inglés) y monoglicéridos como subproducto principal. El objetivo de este trabajo es recuperar los monoglicéridos de la mezcla de reacción y purificar el biodiésel usando membranas de MF/UF.

### Materiales y Métodos

Se recolectó grasa y aceite residual de comercios establecidos de comida de carnitas y antojitos, se determinaron sus propiedades fisicoquímicas (perfil de ácidos grasos, índice de acidez, saponificación, viscosidad y densidad) y se preparó una mezcla 1:1 (v/v). La producción de biodiésel se realizó en las condiciones establecidas por Tacias-Pascacio *et al.* (2017). El fraccionamiento de la mezcla se llevó a cabo usando membranas de MF y UF de diferentes tamaños de poros y naturaleza (poliméricas y cerámicas). El contenido de FAMEs y de monoglicéridos se evaluó por HPLC-RI, antes y después de la purificación.

### Resultados y Discusiones

La mezcla de grasa y aceite residual (MGAR) presentó un alto índice de acidez (10), sin embargo el biocatalizador mostró un rendimiento de 73% de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME's por sus siglas en inglés) y 26% de monoglicéridos. La mezcla de reacción fué fraccionada usando una membrana de PVDF de 0.1  $\mu\text{m}$  usando una presión de 1.5 bar y el flux promedio obtenido fue de 18.5  $\text{kg}/\text{m}^2\text{-h}$ . Este valor es menor a los reportados por algunos autores en la separación de glicerol



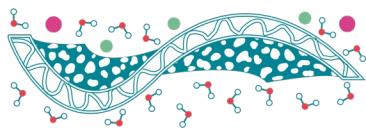
y biodiesel obtenido a partir de aceites puros. Esto se atribuye a la complejidad de la mezcla de grasas y aceites usados como materia prima. Estos resultados podrían mejorarse variando el pH de la mezcla de reacción y/o usando membranas cerámicas de diferente tamaño de poro.

## Conclusiones

Es posible llevar a cabo la recuperación de los monoglicéridos y la purificación de biodiesel, de la mezcla de reacción de biocatálisis de grasa y aceite residual, empleando tecnología de membranas.

## Referencias

- Ayoub M., Zuhairi A.A. (2012). *Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry*. Renewable and Sustainable Energy Reviews **16**, 2671-2686.
- Caballero *et al.* (2009). *Sustainable preparation of a novel glycerol-free biofuel*. Process Biochemistry **44**, 334-342.
- Guo M. *et al.* (2015). *Bioenergy and Biofuels: History, status, and perspective*. Renewable and Sustainable Energy Reviews **42**, 712-725.
- Guisan J.M. (2006). *Immobilization of enzymes and cells*. Humana Press.
- Rodrigues *et al.* (2010). *Two step ethanolysis A simple and efficient way to improve the enzymatic biodiesel synthesis catalyzed by an immobilized stabilized lipase from Thermomyces lanuginosus*. Process Biochemistry **45**, 1268-1273.
- Tacias P.V.G. *Evaluation of different lipase biocatalysts in the production of biodiesel from used cooking oil critical role of the immobilization support*. Fuel **200**, 1-10.



## PUNTOS CUÁNTICOS DE GRENETINA SOPORTADOS EN MEMBRANA FUNCIONALIZADA.

**B.D. Morales-Almaraz<sup>1</sup>, J.M. Díaz-Hernández, A.E. Reyes -Rosas, R.M. Gómez-Espinosa<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM. Facultad de Química UAEM. Carretera Toluca-Atlacomulco km 14.5, C.P. 50200, San Cayetano, Toluca, Estado de México.

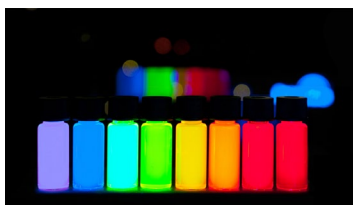
\* E-mail: rosamarigo@gmail.com

**Palabras clave:** Polipropileno; Puntos cuánticos; Grenetina

### Introducción

Los puntos cuánticos son considerados nanoestructuras semiconductoras y han surgido como una nueva clase de nanomateriales fluorescentes. Una de las propiedades más interesantes de los puntos cuánticos es que, al ser iluminados, reemiten luz en una longitud de onda muy específica y que depende del tamaño de este. Cuanto más pequeños sean los puntos, menor es la longitud de onda y más acusadas las propiedades cuánticas de la luz que emiten.

Los puntos cuánticos de carbono (PCC) pueden ser sintetizados utilizando una gran variedad de materias primas naturales, tal es el caso de jugo de naranja, glucosa, almidón, quitosano, grenetina, entre otros. Todos ellos presentan emisiones a diferentes longitudes de onda.



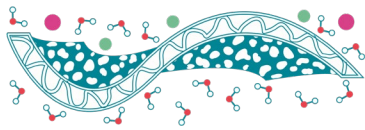
La grenetina es insoluble en una gran mayoría de disolventes orgánicos, aunque es parcialmente soluble en agua fría, pero completamente soluble en agua caliente. Al ser soluble en agua caliente nos permite obtenerlos por el método hidrotermal, pero los puntos cuánticos de carbono provenientes de grenetina son inestables en solución por lo que en el presente trabajo se soportaron en membrana de polipropileno funcionalizada, que les proporciona estabilidad química y facilita su caracterización.

Las membranas poliméricas (polipropileno) han sido utilizadas como soporte de nanopartículas metálicas por nuestro grupo de investigación, lo anterior dio la pauta para proponer que los PCC también podrían ser soportados, proporcionando estabilidad química y su potencial aplicación como sensores químicos.

### Materiales y Métodos

Los principales materiales para el desarrollo de la investigación fueron:

Membranas de polipropileno (comercializada por 3M), Grenetina Agua destilada. Acido acrílico Benzofenona



## Métodos

Los puntos cuánticos son sintetizados a partir de una mezcla de agua desionizada y grenetina en proporción 100 a 2 volumen/peso, la cual se introduce a un fotoreactor con lámparas que emiten una longitud de onda de 310 nm durante un periodo de 3 horas.

## Funcionalización de membrana

Una membrana de polipropileno isotáctico marca 3M se funcionaliza con una solución de ácido acrílico al 10%. Posteriormente se adiciona la solución que soporta los puntos cuánticos, por último, la membrana pasara por una solución de benzofenona al 5% para ser introducidas al final de este proceso al fotoreactor ( $\lambda = 310$  nm) durante 3 horas.

## Resultados y Discusiones

La membrana de polipropileno funcionalizada con ácido acrílico y con puntos cuánticos de carbono soportados fueron caracterizados por espectroscopia FT-IR-ATR observando las vibraciones correspondientes a los enlaces C-C en  $2990-2900\text{ cm}^{-1}$ , y en C-O, C-N  $1715-1650\text{ cm}^{-1}$ , Figura 1. Los PCC soportados en la membrana funcionalizada flourescen a ser observados en la camara de luz Uv a 254 nm, Figura 2.

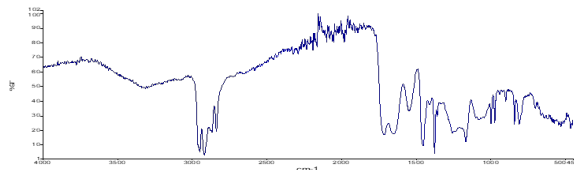


Figura 1. FT-IR-ATR membrana de polipropileno funcionalizada con aa10% y puntos cuánticos de grenetina



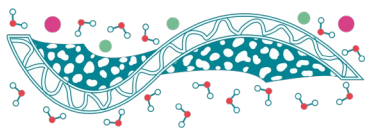
Figura 2. PCC soportados en membrana funcionalizada bajo la presencia de luz Uv.

## Conclusiones

Los puntos cuánticos de carbono fueron eficientemente soportados en membrana de polipropileno funcionalizado, logrando caracterizarlos y estabilizándolos químicamente.

## Referencias

- Pengju G., Sahu S., Yang S.T., et al. (2013). *Carbon “quantum” dots for optical biomanging*. J. Mater. Chem. B, **1**, 2116-2127.
- Basdedios N. (2015) *Sintesis, caracterizacion y empleo de nanoparticulas de carbono dopadas con nitrogeno como fases sensoras para metales*. Universidad de Oviedo.
- Qinghua L., Wangjig M., Zhi L. (2013) *Easy synthesis of highly fluorescent carbon quantum dots from gelatin and their luminescent properties and applications*. Carbon, **60**, 421-428.



# Modificación superficial de Membranas de Filtración de Propileno con Ácido Acrílico por el Método de Preirradiación Oxidativa Gamma

**Elizabeth Vázquez Rivas<sup>1</sup>, Javier Illescas,<sup>1</sup> Claudia Muro-Urista,<sup>1</sup> Guillermina Burillo,<sup>2</sup> Ernesto Rivera<sup>3</sup>**

1. Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/N. Col. Agrícola Bellavista. Metepec, México, 52149.

2. Instituto de Ciencias Nucleares UNAM, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510

3. Instituto de Investigación en Materiales UNAM, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510

\* E-mail: [lzbthvzqz@gmail.com](mailto:lzbthvzqz@gmail.com)

**Palabras clave:** Polimeros estímulo responsivos; membranas; polipropileno; ácido acrílico; radiación gamma; polimerización de injerto.

## Introducción

En la actualidad la tecnología de separación por membranas se ha vuelto importante debido a las diversas ventajas que ofrece, incluyendo entre otras, alta productividad y selectividad, uso de equipos compactos y pequeños, bajo costo y bajo consumo de energía; a consecuencia, esta tecnología ha encontrado una infinidad de aplicaciones en diversos campos, por ejemplo, en la protección al medio ambiente, en la industria petroquímica, alimenticia, farmacéutica, y en los procesos de desalinización de agua (Mehrnia, M. R., & Homayoonfal, M.; 2016).

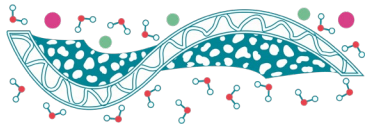
Hoy en día, se dispone de una amplia variedad de polímeros con distintas composiciones que además pueden mezclarse o combinarse, lo que ofrece una gran versatilidad de propiedades que permiten diseñar y elaborar membranas con diferentes características para cada aplicación (Hu, 2012).

Uno de los factores más importantes en el desempeño de una membrana es el material que constituye a la misma. Los polímeros y los materiales estímulo responsivos en general han hecho posible la fabricación de membranas estímulo responsivas o también llamadas inteligentes; de modo que los materiales pueden presentar un cambio dramático en el volumen o cambios en su conformación respondiendo a un estímulo ambiental de temperatura, pH, concentración, luz u otro (Liu, *et al.*, 2015).

La copolimerización de injerto inducida por radiación ha sido empleada para producir materiales con diferentes funcionalidades, propiedades y configuración que cumplen los requerimientos para una variedad de aplicaciones específicas de interés industrial (Zhao, 2013). Este tipo de polimerización presenta ventajas sobre otros tipos de polimerización por injerto, principalmente porque es un medio para modificar matrices poliméricas en las cuales los injertos pueden resultar en una combinación de propiedades tanto de la estructura principal de la matriz como de las cadenas injertadas. A través de la elección adecuada de monómeros con funcionalidades apropiadas, es posible incorporar en los polímeros activados por radiación nuevas propiedades como biocompatibilidad, hidrofiliidad, hidrofobicidad, adhesión, resistencia a la fricción, propiedades de barrera (Wandera, 2010).

## Materiales y Métodos

En este trabajo se reporta la modificación de membranas poliméricas con un poro promedio de 4.5µm, las cuales fueron sometidas a pruebas de hinchamiento para investigar el tipo de solvente y el



grado de solubilidad requerido para llevar a cabo el proceso de polimerización por injerto. Cada membrana fue sumergida en 500 mL de una solución degasificadora de agua metanol (25%) en proporción 1:1 y posteriormente fue secada a 60° C por 24 horas en un horno de vacío. Ácido acrílico termoresponsivo (AAc) fue injertado en membranas microporosas de polipropileno (PPMM) a través de un proceso de polimerización de injerto inducido por radiación gamma para mejorar propiedades superficiales como la hidrofiliidad y retardar el proceso de colmatación de dichas membranas. Las membranas comerciales de polipropileno fueron sometidas individualmente a diferentes dosis de radiación gamma proveniente de una Fuente de <sup>60</sup>Co, en un rango entre 6 to 60 KGy, a temperatura ambiente, en una atmosfera de aire, a una tasa de radiación de 9.71 kGy/h. Las muestras irradiadas se colocaron en ampollas y se saturaron con argón por 15 min, se sellaron y se colocaron a reacción. Las membranas se colocaron en ampollas de borosilicato y fueron expuestas a radiación gamma dentro de un reactor. Finalmete fueron extraidas, enjuagadas y se secaron a peso constante. El grado de inserción fue determinado aplicando la ecuación 1

$$GD(\%) = \frac{W1 - W0}{W0} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Donde,

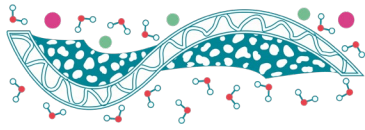
W0 peso inicial de la membrana

W1 peso de la membrana injertada

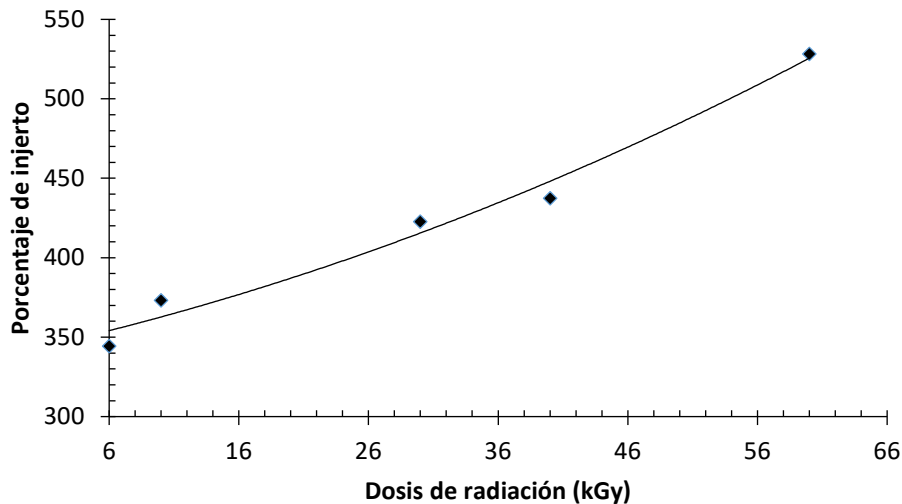
## Resultados y Discusiones

En la Figura 1 se presentan los resultados para los porcentajes de injerto de PAAc en la membrana de PP obtenidos por el método de preirradiación oxidativa a 60 °C y 180 minutos de reacción. De acuerdo a estos resultados el porcentaje de injerto fue aumentando proporcionalmente con el aumento de la dosis de radiación, alcanzando el porcentaje más alto a 60 KGy

Figura 1. Porcentajes de Injerto.



## INJERTO DE PAAc EN PP



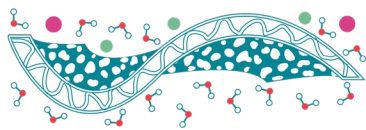
Los resultados presentados mostraron que la adición del monómero hidrofílico AAc en el polímero hidrofóbico aumento su hinchamiento y su hidrofiliidad como se muestra en la Tabla 1

**Tabla 1.** Grados de hinchamiento

MUESTRA	GRADO DE HINCHAMIENTO (%)
PP	0
PP-g-AAc30	247
PP-g-AAc40	303
PP-g-AAc60	496

Para los análisis IR se pudieron observar las diferencias entre el espectro IR del PP y las muestras modificadas debido a bandas bien definidas y atribuibles a PAAc ubicadas en  $1697-1699\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a los grupos C=O; además, se pudo observar la disminución de las bandas características del PP por lo que se puede confirmar la presencia superficial de PAAc. Los análisis morfológicos SEM y de ángulo de contacto Tabla 2 revelaron la formación de una película de injerto sobre los sustratos originales.



**Tabla 2.** Angulos de contacto

MUESTRA	PP	PP-g-AAc30	PP-g-AAc40	PP-g-AAc60
ÁNGULO	129.6	76.2	70.6	63.4

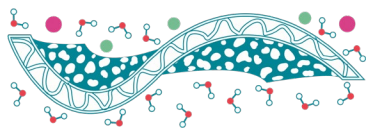
### Conclusiones

Para la etapa de adición de un polímero estímulo responsivo por medio del proceso de polimerización de injerto iniciado por radiación gamma, se injerto exitosamente ácido acrílico en una membrana microporosa comercial de PP por el método de preirradiación a diferentes dosis de irradiación. El grado de injerto de ácido acrílico en PP aumento conforme se incrementó la dosis de irradiación alcanzándose un valor de injerto de 528% de AAc a una dosis absorbida de 60 kGy.

Se obtuvieron resultados favorables El injerto del polímero hidrofílico sobre la superficie hidrofóbica causo cambios significativos en la estructura física de las muestras originales y los análisis de FTIR, SEM y de ángulo de contacto revelaron la formación de una película de injerto sobre los sustratos originales

### Referencias

- Mehrnia, M. R., & Homayoonfal, M. (2016). *Fouling mitigation behavior of magnetic responsive nanocomposite membranes in a magnetic membrane bioreactor*. Journal of Membrane Science, **520**, 881–894.
- Hu, J., Meng, H., Li, G. and Ibekwe, S. I. (2012a) *A review of stimuli-responsive polymers for smart textile applications*. Smart Materials and Structures, **21**, 053001 (23pp.).
- Liu, F., & Urban, M. W. (2010). *Recent advances and challenges in designing stimuli-responsive polymers*. Progress in Polymer Science (Oxford), **35(1–2)**, 3–23.
- Wandera, D., Wickramasinghe, S. R., & Husson, S. M. (2010). *Stimuli-responsive membranes*. Journal of Membrane Science, **357(1–2)**, 6–35.
- Zhao, X., Chen, W., Su, Y., Zhu, W., Peng, J., Jiang, Z., Liu, J. (2013). *Hierarchically engineered membrane surfaces with superior antifouling and self-cleaning properties*. Journal of Membrane Science, **441**, 93–101.



## Síntesis y caracterización de membranas de intercambio catiónico por electrospinning para su aplicación en electrodiálisis inversa

M. Mosqueda Quintero<sup>1</sup>, J.S. Jaime Ferrer<sup>2</sup>, L. Villafaña López<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, Guanajuato, Guanajuato, 36050, México.

<sup>2</sup> Laboratorio de Estudios de Procesos de Membranas, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas CIATEC A.C., Omega no. 201 Col. Industrial Delta, León, Guanajuato, 37545, México.

\*lvillafana@ciatec.mx

**Palabras clave:** Membranas de intercambio catiónico; electrospinning; grado de hinchamiento; capacidad de intercambio iónico.

### Introducción

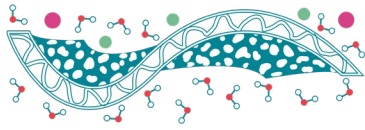
Los actuales problemas ambientales han generado un creciente interés en las energías renovables, como la energía azul a través de la electrodiálisis inversa, que tiene como principio el transporte de agua con distinta concentración salina a través de membranas selectivas a iones, dando como resultado una diferencia de potencial. Las membranas de intercambio aniónico y catiónico generalmente son preparadas por evaporación de solventes usando la técnica de casting, pero la técnica de electrospinning o electrohilado podría lograr mejores características superficiales y estructurales. Este trabajo tiene como objetivo la síntesis y caracterización de membranas de intercambio catiónico por electrospinning para su aplicación en electrodiálisis inversa y generación de energía eléctrica.

### Materiales y Métodos

La síntesis de estas membranas se hizo tomando como base el método de evaporación de solvente publicado por Hosseini, et al., (2010). La solución polimérica es una mezcla de policloruro de vinilo (PVC), en 10 ml de tetrahidrofurano (THF) con 1.0 g de resina catiónica triturada (Amberlyst® 15). También se utilizó dodecilsulfato de sodio (SDS) como aditivo durante la síntesis de las nanofibras. Se prepararon cuatro mezclas diferentes variando la relación de PVC y SDS, en la Tabla 1 se describen las diferentes mezclas preparadas. Diferentes volúmenes de las mezclas anteriores se colocaron dentro de una jeringa que se instaló en equipo de electrohilado de escala laboratorio NanoSpinner-1 (Inovenso). El flujo de la solución polimérica se ajustó a 2.0 mL/h, el voltaje se fijó a 17.5 kV y la distancia entre la punta y el colector plano fue de 15 cm. Una vez que la membrana estaba formada se retiró del colector y se sumergió en agua destilada por unos segundos para poder despegarla y almacenarla.

### Resultados y Discusiones

Las pruebas de solubilidad, resistencia al pH y la presencia de los grupos correspondientes a la resina-PVC en el espectro de infrarrojo sugieren un adecuado entrecruzamiento entre los diferentes reactivos utilizados para todas las membranas sintetizadas. También se midió el espesor, el ángulo de contacto de agua ( $\theta_w$ ), el grado de hinchamiento (SD), la capacidad de intercambio iónico (IEC)



y se calculó la cantidad de cargas fijas ( $CD_{fix}$ ) de las membranas; estos valores se compararon con los resultados obtenidos por el método de evaporación de solvente.

Todas las membranas presentan propiedades hidrofóbicas ( $\theta_w > 90^\circ$ ) indicando resistencia a la introducción de moléculas de agua en una matriz. La mezcla 2, 3 y 4 fueron sintetizadas con SDS, este aditivo logró la formación de fibras en menor tiempo de mezclado; sin embargo, el SD que presentan es muy alto el cual puede afectar al rendimiento de la membrana. A mayor valor de IEC mayor cantidad de  $CD_{fix}$  y por consecuencia mejor rendimiento por parte de la membrana. En nuestro caso, la membrana sintetizada por electrospinning (mezcla 1) es superior a la sintetizada por evaporación de solvente ya que presenta los valores más altos de IEC y  $CD_{fix}$ ; además, de tener el espesor más delgado. En la Tabla 1 se reportan los valores de los parámetros descritos anteriormente junto con su error estándar (ES).

**Tabla 1.** Relación de PVC:SDS, volumen de mezcla utilizada por membrana, medidas de espesor,  $\theta$ , SD, IEC y  $CD_{fix}$  de las diferentes membranas estudiadas.

Mezcla	PVC:SDS (m/m)	Vol. por membrana (ml)	Espesor $\pm$ ES ( $\mu$ m)	$\theta_w \pm$ ES ( $^\circ$ )	SD $\pm$ ES (%)	IEC $\pm$ ES (meq/g)	$CD_{fix} \pm$ ES (meq/g)
1	1.5:0.0	10	214 $\pm$ 12	148 $\pm$ 1	1.5 $\pm$ 0.2	1.69 $\pm$	119.6 $\pm$
2	1.5:0.2	10	360 $\pm$ 18	141 $\pm$ 1	164 $\pm$ 18	-	-
3	1.5:0.4	10	349 $\pm$ 16	140 $\pm$ 2	172 $\pm$ 13	-	-
4	1.0:0.4	5	308 $\pm$ 14	133.5 $\pm$ 0.8	176 $\pm$ 17	-	-
Evap. de solvente	1.0:1:0	5	274.0 $\pm$ 0.4	127.0 $\pm$ 0.5	4 $\pm$ 2	1.34 $\pm$ 0.20	33.6 $\pm$ 5

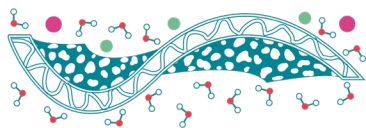
## Conclusiones

La membrana sintetizada por electrohilado sin SDS tiene las mejores características debido a que presenta los valores más bajos de SD y espesor, junto con los valores más altos de IEC y  $CD_{fix}$ ; estas propiedades hacen que esta membrana sea adecuada para sistemas de electrodiálisis inversa.

## Referencias

Hosseini, S.M., et al. (2010). *Preparation and surface modification of PVC/SBR heterogeneous cation exchange membrane with silver nanoparticles by plasma treatment*, Journal of Membrane Science **365**, 438-446.

Hosseini, S.M., et al. (2014) *Surface modification of heterogeneous cation exchange membranes by simultaneous using polymerization of (acrylic acid-co-methyl methacrylate): Membrane characterization in desalination process*, Desalination **345**, 13-20.



## Síntesis y caracterización de partículas de plata utilizando membrana de polipropileno modificada.

**N. Reyes Conzuelo<sup>1</sup>, A.I. Millán Sánchez<sup>1</sup>, R. Hernández García<sup>1</sup>, M.L. Palacios Jaimes<sup>2</sup>, R. M. Gómez-Espinosa<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM. Facultad de Química UAEM. Carretera Toluca-Atlaconulco km 14.5, C.P. 50200, San Cayetano, Toluca, Estado de México.

<sup>2</sup> Facultad de Medicina, UAEM, Paseo Tollocan esquina Paseo Colón, Toluca, Estado de México.

\* E-mail: rmgomeze@uaemex.mx

**Palabras clave:** plata; polipropileno; modificación.

### Introducción

La plata ha sido utilizada desde tiempos antiguos como agente bactericida, eliminando microorganismos presentes en alimentos y bebidas. Actualmente este metal ha sido probado como una alternativa en el uso de antibióticos, haciendo difícil la resistencia a él, debido a que su acción consiste en inhibir las enzimas en el proceso respiratorio de óxido-reducción celular provocando la muerte del microorganismo, esta acción hace muy atractivo el uso de plata como biocida.

En nuestro grupo de investigación tenemos experiencia en la modificación de polipropileno a través de la reacción de polimerización por injerto usando radiación Uv, con esta metodología funcionalizamos al polipropileno injertando grupos polares en su superficie; los cuales pueden actuar como sitios de anclaje de iones metálicos que posteriormente pueden ser reducidos obteniendo de esta forma las partículas metálicas sintetizadas en la membrana modificada. Por lo anterior, en el presente trabajo se sintetizan y se caracterizan partículas de plata sobre la superficie modificada de polipropileno.

### Materiales y Métodos

A una membrana de polipropileno isotáctico marca 3M se le injerta aceite de soya epoxidado acrilatado (AESO) por medio de agitación durante 30 minutos en un agitador orbital Prendo a 150 rpm, posteriormente se coloca en un foto reactor durante 15 minutos para después realizar lavados con acetona y secar en una cámara de vacío hasta alcanzar peso constante, por último se caracteriza por FT-IR-ATR. La membrana ya caracterizada se sumerge en una solución de nitrato de plata por 60 minutos en agitación en un agitador orbital Prendo a 180 rpm, pasado este tiempo se sumerge en una solución reductora, posteriormente se seca en una cámara de vacío hasta alcanzar peso constante y finalmente se caracteriza por UV-VIS.

### Resultados y Discusiones

Como se muestra en la figura 1, se observan los grupos funcionales, carbonilo e hidroxilo (C=O, OH), injertados en la membrana de polipropileno. En el espectro color rojo podemos al polipropileno sin modificar, en 2999-2900  $\text{cm}^{-1}$  se aprecian los grupos metilo, metileno provenientes del esqueleto de hidrocarbonado. En cambio en el espectro color negro observamos en 3400-3350  $\text{cm}^{-1}$  a los grupos hidroxilo y en 1711  $\text{cm}^{-1}$  se encuentran los grupos carbonilo de aceite de soya epoxidado acrilatado. La caracterización utilizando el FT-IR-ATR fue contundente y corroboró la modificación y funcionalización del polipropileno.

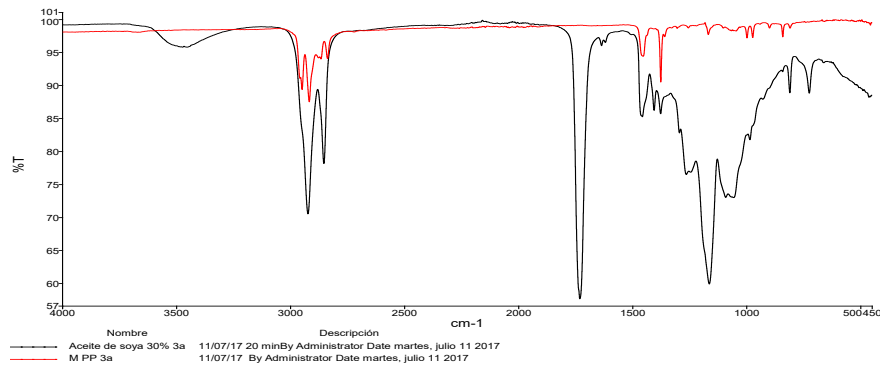
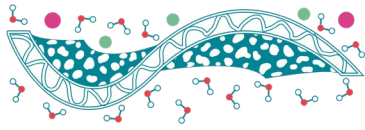


Figura 1. Espectro de FT-IR-ATR de membrana de polipropileno (rojo) y polipropileno modificado (negro) injertado con aceite de soya.

La síntesis de las partículas de plata sobre el polipropileno modificado se realizó utilizando el método impregnación-reducción y fue analizada en un equipo de Uv con reflectancia difusa, lo que nos permitió la caracterización de las partículas metálicas de plata, encontrando que estas eran de tamaño nanométrico ya que se pudo observar el plasmón superficial de las partículas de plata y se muestra en la figura 2.

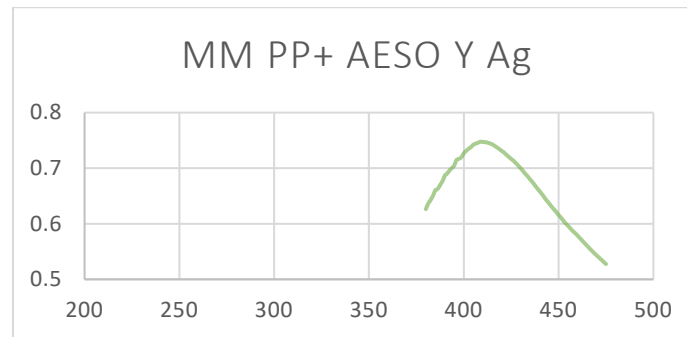


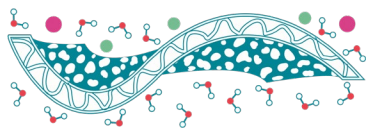
Figura 2. Análisis de Uv-reflectancia difusa de la resonancia del plasmón superficial de las partículas de plata.

## Conclusiones

La modificación de polipropileno usando la técnica de polimerización por injerto con radiación Uv fue eficiente para lograr la funcionalización del material polimérico. La membrana proporciona estabilidad a las partículas metálicas sintetizadas sobre su superficie logrando su caracterización por Uv-reflectancia difusa, observando la resonancia del plasmón superficial. Por lo que se concluye que la membrana de polipropileno modificada es una alternativa viable y sencilla para la obtención de nanopartículas metálicas soportadas sobre polipropileno modificado.

## Referencias

- Álvarez, S. (2007). *Compatibilización de mezclas de poliolefinas con hidroxiapatita, utilizando polímeros funcionalizados*. Tesis de Licenciatura. Título de Ingeniería en Materiales. Universidad Simón Bolívar. Venezuela.
- Morones, J., Elechiguerra, J. L. (2005). *The bactericidal effect of silver nanoparticles*. *Nanotechnology*, **16** 2346.
- Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). *Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials*. *Biotechnology Advances*, **27**(1), 76–83.



## Uso de una Membrana Catalítica para la Reducción de Nitratos en Agua Residual

E. Velázquez López<sup>1</sup>, M. Gutiérrez Arzaluz<sup>2</sup>, V. Mugica Álvarez<sup>2</sup>, M. Torres Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Ciencias e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, CDMX

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, CDMX

\* E-mail: gam@azc.uam.mx

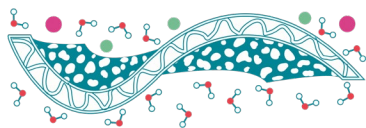
**Palabras clave:** Membrana Catalítica; Membrana Pd-Sn; Remoción; ion nitrato

### Introducción

En años recientes se ha incrementado la concentración de nitratos en aguas subterráneas originada principalmente por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, causando un desequilibrio natural de este ion en los mantos acuíferos. La contaminación por nitratos de cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, es un problema real en México, demostrado por estudios realizados por diversas instituciones en diferentes estados del país; la cantidad de nitratos presentes en el agua profunda exceden los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994. De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, cuando las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  sobrepasan los límites de concentración permitidos en el agua, se recomienda el uso de las siguientes técnicas para su tratamiento: intercambio iónico, coagulación, floculación, sedimentación o filtración; cualquiera o la combinación de ellos. Es importante mencionar que estas técnicas son utilizadas para la remoción de materia orgánica en aguas residuales, el ion nitrato es un anión estable y altamente soluble en agua, lo que conduce a que tratamientos convencionales de aguas, como los mencionados, no sean adecuados para su eliminación. Con el fin de contribuir a la eliminación de este contaminante que ya genera problemas de salud en México, por las altas concentraciones de este anión, en la presente investigación, se propone el uso de la reacción de hidrogenación selectiva del ion nitrato en muestras de agua modelo (concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  promedio, encontradas en los cuerpos de agua de diferentes lugares del Valle de México) utilizando una tecnología novedosa como lo es el reactor de membrana catalítica tipo contactor, éste sistema de tratamiento (Reacción de hidrogenación selectiva con el uso de una membrana catalítica) está encaminado a mejorar la tasa de remoción o degradación de contaminantes, la eficiencia del proceso permitirá la disminución de los costos de los procesos, para que éstos sean más rentables, la reacción de hidrogenación mediante el uso de una membrana catalítica ( $\text{Pd-Sn}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) permitirá disminuir los costos de operación del proceso de remoción de este contaminante.

### Materiales y Métodos

La eliminación de iones nitrato en agua se llevó a cabo mediante la reacción de hidrogenación catalítica usando una membrana catalítica compuesta por un soporte de geometría tubular de alúmina, con una fase activa de Pd y Sn sobre la superficie de la última película porosa del soporte inorgánico (Velázquez, 2017). Las configuraciones de reactor de membrana estudiadas son: reactor tipo contactor, flujo forzado y tanque agitado. Primeramente se procedió a preparar una solución de iones nitrato con una concentración de 50 ppm y se le dio un pretratamiento a la solución en el tanque de almacenamiento para ajustar el pH en un intervalo de 4 a 5, las pruebas se realizaron a temperatura ambiente, 40 y 60°C y, la fase líquida se alimentó al reactor con flujo volumétrico de  $5 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  y el



H<sub>2</sub> a 200 ml·min<sup>-1</sup> como gas reductor. Por medio de un electrodo selectivo a nitratos, fue monitoreada la eliminación de nitratos, junto con el pH de la solución.

## Resultados y Discusiones

En la tabla 1, se presentan solo algunos resultados obtenidos en la hidrogenación del NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, el mayor porcentaje de remoción de los iones nitratos se consiguió con la configuración de tanque agitado con el catalizador (Pd-Sn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) relación molar 2:1 (Pd-Sn), alcanzando un 80% de la conversión a temperatura de 40°C, presión de 40 psi de H<sub>2</sub> y pH de la solución de 4.5. La disolución de CO<sub>2</sub> en la solución de nitratos permite ajustar un pH de 4.5, que favorece una mayor conversión del ion nitrato en comparación con una solución de pH 7. Fue posible comprobar la reproducibilidad de los experimentos de eliminación de nitratos tanto a temperatura ambiente como a 40°C.

**Tabla 1.** Conversión obtenida en la eliminación de iones nitrato con los diferentes materiales.

	Conversión de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)									% en peso SEM/EDS	
	25°C			40°C			60°C			Pd	Sn
	4h	8h	10h	4h	8h	10h	4h	8h	10h		
<b>Tiempo</b>											
<b>Polvos</b>	30.0	42.3	42.1	35.0	50.5	54.0	-	-	-	6.8	0.74
<b>Membrana</b>	9.01	11.0	11.0	26	32	32	23	41	41	2.85	0.87

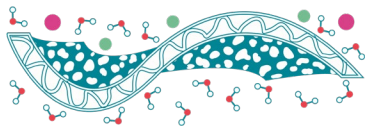
## Conclusiones

Fue posible eliminar los iones nitratos de agua contaminada usando tanto el reactor convencional como el reactor de membrana catalítica con diferentes configuraciones. En el sistema de tanque agitado se obtuvo el mayor porcentaje de eliminación y con respecto a las configuraciones del reactor de membrana, con el tipo contactor se obtiene mayor eliminación de nitratos en comparación con los demás sistemas con membrana. Es importante resaltar que el porcentaje en peso del Pd presente en la membrana catalítica es menor, con respecto al contenido en el polvo, por lo que se puede concluir que si se incrementa la temperatura de 40 a 60°C, el uso de una membrana resulta factible, aunado a que con la membrana no es necesario filtrar el agua tratada.

## Referencias

Secretaría de Salud, (2000), NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994.

Velázquez E., Gutiérrez M., Múgica V., Torres M. (2017). *Síntesis de una membrana bimetálica Pd-Sn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, *Revista de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Membranas* **4**, SMCYTM Año 4, No. 4.



## Síntesis de membranas de PVDF/ (SPEES/PES)/Nafion NR50<sup>®</sup> para dispositivos de conversión de energía.

B. Y. García-Limón<sup>1</sup>, L. J. Salazar-Gastélum<sup>2</sup>, S. Pérez-Sicairos<sup>1,2\*</sup>, M. I. Salazar-Gastélum<sup>1</sup>, S.W. Lin<sup>2</sup>, A. Zizumbo-López<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd. Industrial S/N Tijuana, B. C. México, C.P. 22500

<sup>2</sup> Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd. Industrial S/N Tijuana, B. C. México, C.P. 22500

\* E-mail: sperez@tectijuana.mx

**Palabras clave:** Membranas de intercambio catiónico; PVDF; SPEES; PES; Nafion NR50<sup>®</sup>.

### Introducción

La demanda energética es un marcador sensible para el bienestar y prosperidad de una población, las fuentes de energías primarias dominantes son los combustibles fósiles, mas específicamente, petróleo, carbón y gas, que suministran aproximadamente el 80% de la energía primaria a nivel mundial (Del Carmen, 2012). Debido a que las fuentes de energías fósiles son limitadas y contribuyen a la contaminación ambiental, surge como solución el uso de energías alternativas, las cuales tienen una capacidad de generación ilimitada (Guney & Tepe, 2017). Debido a que la energía eléctrica producida no puede ser almacenada a gran escala surge la necesidad de emplear el uso de dispositivos de conversión de energía, entre los que se encuentran; baterías de flujo, supercapacitores, celdas de combustibles, entre otras (Dehghani-Sanij et. al., 2019), estos dispositivos tienen en común el uso de un separador, el cual es una membrana selectiva al paso de iones. La membrana de separación entre estas especies es una de las partes más importantes, mejorar las propiedades de la membrana, permitiría obtener mayor eficiencia de estos dispositivos.

### Materiales y Métodos

En este trabajo se reporta la preparación de membranas densas aplicando los polímeros con el método de *doctor blade*. Se eligió una mezcla polimérica de polifluoruro de vinilideno (PVDF), (poliéter éter sulfona sulfonada (SPEES) / poliéter sulfona (PES)) y Nafion NR50<sup>®</sup>, debido a las propiedades que posee cada polímero, para preparar membranas de intercambio catiónico, con el método de inversión de fases en atmósfera controlada de aire, con potencial uso en dispositivos de conversión de energía y como una alternativa más económica al uso de la membrana comercial de Nafion<sup>®</sup>.

### Resultados y Discusiones

Las membranas sintetizadas fueron de un espesor de 50  $\mu\text{m}$ , mismo espesor que la membrana comercial, de esta manera se evaluó el efecto de la concentración de los polímeros empleados sobre sus propiedades morfológicas y de intercambio catiónico de las membranas PVDF/(SPEES/PES)/Nafion NR50<sup>®</sup>. La caracterización de las membranas se realizó mediante las técnicas analíticas: absorción de agua, grado de hinchamiento, análisis termogravimétrico (TGA), microscopía electrónica de barrido (SEM), infrarrojo (FT-IR), análisis mecánico dinámico (DMA), densidad de carga superficial (SDC), microscopía de fuerza atómica (AFM), y tasa de intercambio protónico. En la siguiente tabla se muestra la composición de las membranas sintetizadas, así como algunos de los resultados de las caracterizaciones realizadas.



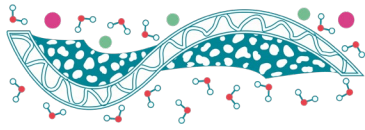


Tabla 1. Características de las membranas sintetizadas.

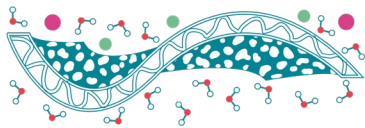
Membrana	Nombre	Concentración	SCD (meq Na <sup>+</sup> /m <sup>2</sup> )	Absorción de agua (%)	Grado de hinchamiento (%)
PVDF/SPEES/Nafion NR50 <sup>®</sup>	M1	12%/2%/2%	66.58	39.62	32
	M2	10%/3%/3%	91.66	36.11	24
PVDF/PES/Nafion NR50 <sup>®</sup>	M3	12%/2%/2%	45.83	24.16	22
	M4	10%/3%/3%	48.33	18.62	10
Nafion <sup>®</sup>	Nafion <sup>®</sup>	Membrana comercial	77.50	15.82	4

## Conclusiones

Se prepararon diferentes membranas de intercambio catiónico a base de PVDF/(SPEES/PES)/Nafion NR50<sup>®</sup>, con el objetivo de evaluar la concentración de los polímeros dentro de la mezcla polimérica, para su aplicación en dispositivos de conversión de energía. Del conjunto de membranas sintetizadas se observa que las membranas preparadas con SPEES presentan mayor porcentaje de absorción de agua y de grado de hinchamiento, lo cual indica un grado mayor de hidrofiliicidad, de igual manera se observa que la adición de SPEES produce una mejor densidad de carga superficial en las membranas. Los resultados de la caracterización, se compararon con la membrana comercial de Nafion 117<sup>®</sup>.

## Referencias

- Guney, M., & Tepe, Y. (2017). *Classification and assessment of energy storage system*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75, 1187-1197. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.102
- Del Carmen Clemente Jul, M. (2012). *Comparación de tecnologías de almacenamiento energético provenientes de energías renovables*. Anuales de la Real Academia de Doctores de España, 16(1):29-49.
- Dehghani-Saniij, A., Tharumalingam, E., Dusseault, M., & Fraser, R. (2019). *Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries*. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 104, 192-208. doi: 10.1016/j.rser.2019.01.023



## Comparación del desempeño de PVA/KOH y SPEEK como membranas de intercambio iónico para EDLC

R. López-Mayo<sup>1</sup>, L.G. Arriaga<sup>1\*</sup>, M.P. Gurrola<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Parque Tecnológico Querétaro s/n Sanfandila, C.P. 76703, Pedro Escobedo, Querétaro.

<sup>2</sup> 3CONACYT-Tecnológico Nacional de México/ I.T. Chetumal, Av. Insurgentes 330, C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México.

\* larriaga@cideteq.mx

**Palabras clave:** Capacitor, Electrolito sólido, electroquímica.

### Introducción

Los electrolitos son materiales que existen comúnmente como soluciones de ácidos, bases o sales, así como algunos gases pueden actuar como electrolitos bajo condiciones específicas como temperatura alta o presión baja. Comúnmente los SC utilizan electrolitos acuosos, debido a su alta conductividad iónica; sin embargo, poseen un rango de potencial limitado ( $\sim 1$  V) e importantes problemas por riesgo de derrame, que puede desencadenar en corrosión o explosiones, lo que limita sus aplicaciones (Kaiser, 1993).

Por otro lado, los electrolitos sólidos poseen ventajas considerables respecto a los líquidos, como fácil manejo sin derrame de líquidos peligrosos, haciéndolo así seguro para el ambiente, con baja corrosión interna, construcción sencilla y flexibles. Debido a su potencial de quiebre relativamente alto, baja pérdida eléctrica, peso ligero, carga rápida y bajo costo, los polímeros son la primera opción (Samui & Sivaraman, 2010). Los capacitores dieléctricos con alta densidad energética pueden reducir significativamente el volumen y peso de los SC.

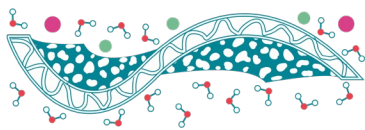
Una de las mayores ventajas de los electrolitos sólidos respecto a los líquidos, es que serán transportadores solamente de iones, mas no de carga; lo que resulta en un material bifuncional: electrolito y separador.

Debido a su alto costo, se han investigado alternativas al Nafion, como el benzimidazol y poli (éter-éter cetona) sulfonado (SPEEK). Este último se ha utilizado ampliamente como membrana de polímero conductor de protones en sistemas de celdas de combustible, y consiste en grupos aromáticos en la cadena principal y se espera que tengan una constante dieléctrica más alta a través de la contribución si se deslocaliza  $\pi$ -electrones en grupos aromáticos. Además, la polarizabilidad global se puede aumentar modificando estos polímeros a través de la incorporación de grupos laterales polares, lo que resulta en una contribución iónica adicional a la polarización total (Lamberti, et al., 2017).

### Materiales y Métodos

#### *Síntesis SPEEK*

1. Disolver 1 gr de PEEK en 50 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.



2. Agregar gota a gota la solución resultante a un matraz Erlenmeyer con 500 mL de agua en agitación previamente enfriada a 15 °C.
3. Filtrar la solución para recuperar el polímero resultante.
4. Secar el polímero a 80°C durante 8 horas.
5. Disolver en dimetilformamida (DMF) a una concentración 50% peso volumen.
6. Filtrar la solución en papel milipore para eliminar las impurezas.
7. Depositar en una caja Petri.
8. Secar a 60°C durante 4 horas.

#### *Síntesis PVA/KOH*

1. Disolver 1 gr de KOH en 1 ml de agua desionizada.
2. Disolver 1 g de PVA en 10 ml de agua desionizada.
3. Mezclar ambas soluciones en agitación constante a temperatura ambiente durante 30 minutos.
4. Depositar en una caja Petri.
5. Secar a 60°C durante 2 horas.

El ensamble del capacitor consistió en formar una estructura paralela a partir del separador, como se muestra en la figura

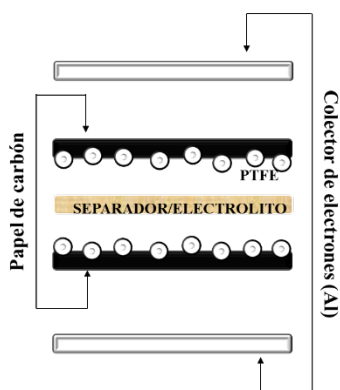


Figura 1. Estructura del capacitor.

## Resultados y Discusiones

El electrolito sólido generado de PVA/KOH tuvo una consistencia plástica. Sin embargo, comenzó a contraerse y corrugarse conforme perdió humedad, a condiciones ambientales.

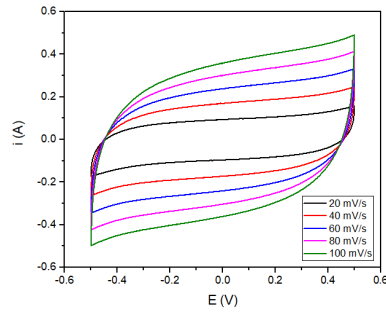
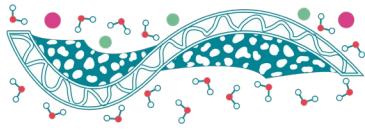


Figura 2. Voltamperometría cíclica a diferentes velocidades de barrido PVA/KOH

En la voltamperometría cíclica de PVA/KOH a diferentes velocidades de barrido, mostrada en la Figura 2, se observa una onda cuasi-rectangular que permanece a velocidades de barrido altas.

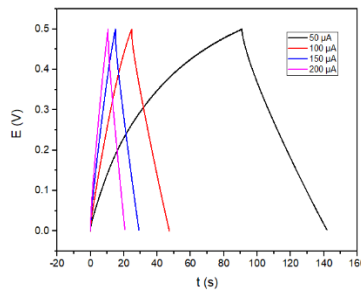


Figura 3. GCD a diferentes corrientes PVA/KOH.

Con las curvas galvanostáticas de carga y descarga mostradas en la Figura 3, se calculó una capacitancia de  $34.892 \text{ mF/cm}^2$ .

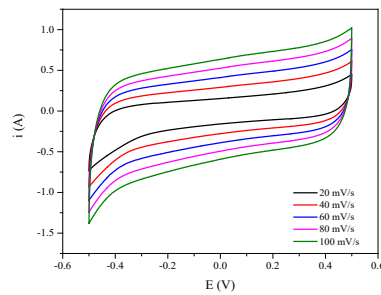
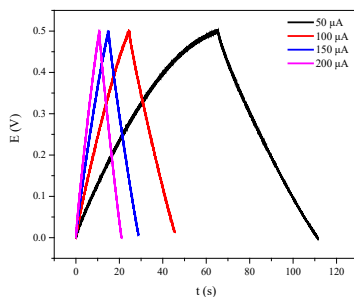
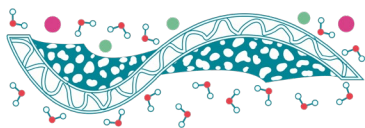


Figura 4. CV a diferentes velocidades de barrido SPEEK.



**Figura 5.** GCD a diferentes intensidades de corriente.

De acuerdo a las curvas de carga y descarga de la Figura 5 se calculó la capacitancia del sistema  $47.395 \text{ mF/cm}^2$ .

## Conclusiones

La forma cuasi-rectangular observada en los voltamperogramas de ambos sistemas se traduce en una potencial carga rápida del condensador (Breitkopf & Swinder-Lyons, 2017).

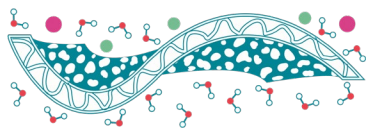
El voltamperograma de la Figura 4 muestra un comportamiento característico de EDLC, sin picos de procesos redox aparentes y una forma cuasi-rectangular, lo cual demuestra que su comportamiento es similar a un electrolito enclaustrado convencional (PVA/KOH), por ende, la membrana funciona como un excelente medio de transporte para los iones, en este caso  $\text{H}^+$  dado que el polímero se evaluó hidratado.

La Figura 5 muestra las curvas galvanostáticas de carga y descarga para este sistema, sin caídas óhmicas aparentes. En caso de observarse una caída óhmica, tendría que atribuirse a la resistencia que opone el polímero al movimiento iónico aunado a las inevitables resistencias de contacto entre placas.

De esta forma se demuestra la factibilidad del uso de SPEEK como electrolito sólido en membranas con aplicación a capacitores de doble capa electroquímica.

## Referencias

- Kaiser, C., 1993. The capacitor handbook. New York: Springer.
- Samui, A. & Sivaraman, P., 2010. Solid polymer electrolytes for supercapacitors. *Polymer Electrolytes: Fundamentals and Applications*, pp. 431-470.
- Lamberti, A., Serrapede, M. & Ferraro, G., 2017. All-SPEEK flexible supercapacitor exploiting laser-induced graphenization. *2D Materials*, 4(3).
- Breitkopf, C. & Swinder-Lyons, K., 2017. Handbook of Electrochemical Energy. Berlin: Springer.



## Desarrollo de membranas PVA/PAA mediante electrospinning para baterías metal–aire

I. Velázquez-Hernández<sup>1</sup>, E. Ortiz-Ortega<sup>1</sup>, L. Álvarez-Contreras<sup>2</sup>, M. Guerra-Balcázar<sup>3</sup>, B. L. España-Sánchez<sup>4</sup>, N. Arjona<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Pedro Escobedo, Qro. C.P. 76703

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua, Chih., C.P. 31136

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Queretaro, Qro. C.P. 76010

<sup>4</sup> Cátedras CONACYT, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Pedro Escobedo, Qro. C.P. 76703

\* E-mail: [wvelazquez@cideteq.mx](mailto:wvelazquez@cideteq.mx)

**Palabras clave:** alcohol de polivinilo, ácido poliacrílico, baterías, Zinc.

### Introducción

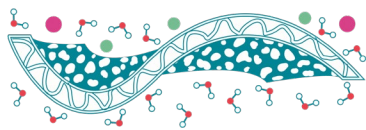
Las baterías metal–aire son consideradas como una alternativa para suministrar la demanda energética de diversas tecnologías (Fan *et al.*, 2019). Recientes avances han demostrado que los electrolitos poliméricos gelificados (GPEs, por sus siglas en inglés) son altamente eficientes en estas baterías. El alcohol de polivinilo (PVA) es una de las matrices poliméricas más utilizadas debido a su estabilidad química, electroquímica, alta durabilidad y fácil fabricación. El problema central del PVA es su baja retención de agua y, por ende, de electrolito acuoso (típicamente KOH, <2M). El ácido poliacrílico (PAA) permite incrementar la concentración de KOH que puede permanecer en la red polimérica, mejorando la conductividad iónica (Li *et al.*, 2015). Sin embargo, existen problemáticas para modular la interacción entre ambos componentes. En este trabajo, se empleó la técnica de electrospinning para desarrollar membranas compuestas de PVA/PAA a través de la modulación del voltaje y del tiempo de electrospinning, con la finalidad de modificar los espesores de membrana.

### Materiales y Métodos

Para la síntesis de las membranas PVA/PAA se utilizó un equipo de electrospinning de fabricación casera. Seis membranas fueron sintetizadas y etiquetadas de la A–F modificando la relación PVA/PAA (desde 1:1, 2:1 a 10:3), voltaje (15 o 18 kV) y tiempo (30, 35 o 40 min) como se observa en la Tabla 1.

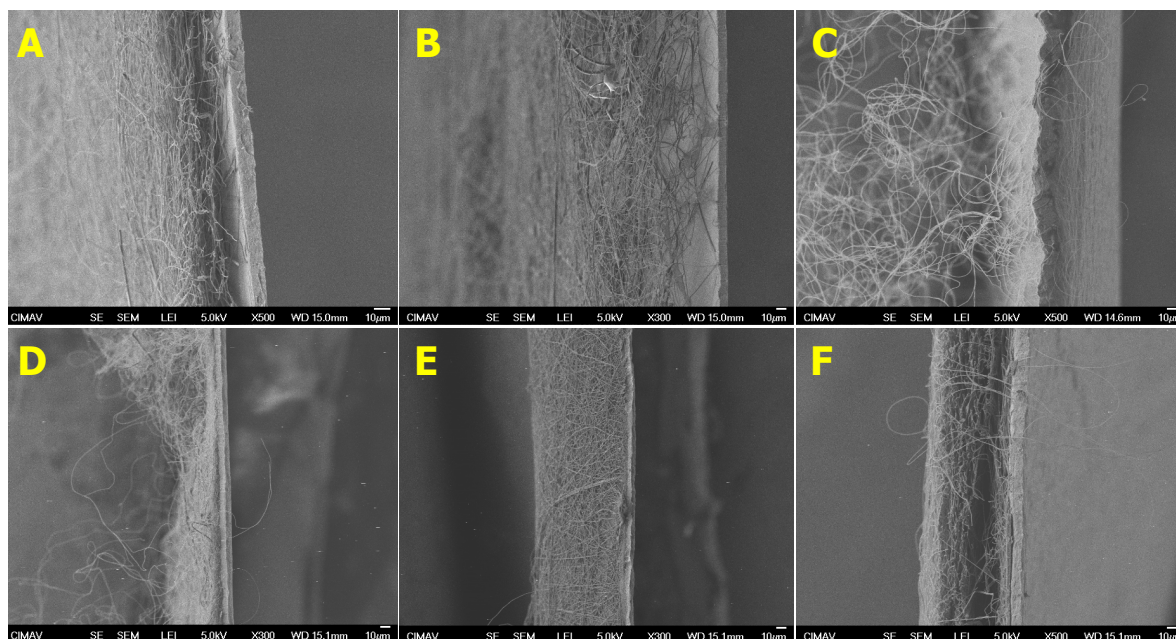
**Tabla 1.** Resumen de las variables empleadas para la modificación de las membranas PVA/PAA

Variable	A	B	C	D	E	F
PVA/PAA	2:1	2:1	10:3	10:3	1:1	1:1
Voltaje	15 kV	18 kV	15 kV	18 kV	15 kV	18 kV
Tiempo	30 min	30 min	40 min	30 min	30 min	35 min



## Resultados y Discusiones

Imágenes FE-SEM indicaron que las modificaciones en las membranas A y B resultaron en membranas con una baja homogeneidad. Mientras que, las membranas C y D presentaron un crecimiento poco uniforme. Las membranas E y F mostraron buena uniformidad en el espesor de membrana, y alta homogeneidad en espesores de hilo.



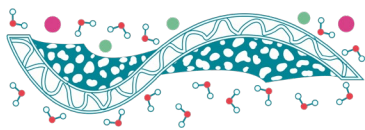
**Figura 1.** Imágenes FE-SEM de sección transversal de las membranas PVA/PAA sintetizadas modificando el voltaje, tiempo y estequiometría entre precursores.

## Conclusiones

Resultados fisicoquímicos demuestran que, una relación PVA/PAA de 1:1, con un voltaje de 15 kV y un tiempo de 30 min resultaron óptimos para el desarrollo de membranas homogéneas y uniformes.

## Referencias

- Fan X., Liu J., Song Z., Han X., Deng Y., Zhong C., Hu W. (2019). *Porous nanocomposite gel polymer electrolyte with high ionic conductivity and superior electrolyte retention capability for long-cycle-life flexible zinc-air batteries*, *Nano Energy* **56**, 454-462.
- Li B., Lu X., Yuan J., Zhu Z., Li L. (2015). *Alkaline poly(vinyl alcohol)/poly(acrylic acid) polymer electrolyte membrane for Ni-MH battery application*, *Ionics* **21**, 141-148.



## Estudio comparativo de tres membranas utilizadas en un sistema de filtración para potabilizar agua de pozo

I.E. Villegas Mendoza<sup>1</sup>, M. Piña Soberanis<sup>2</sup>, J.A. Bañuelos Díaz<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550

\* E-mail: ivan\_villegas@tlaloc.imta.mx

**Palabras clave:** Membranas; Nano-filtración; Ósmosis inversa; Potabilización

### Introducción

El agua potable es la necesidad más grande para la vida humana. El desarrollo de la sociedad reclama cada vez más agua, pero no solo a veces el vital líquido escasea, sino que su calidad en los puntos donde se encuentra y capta, desgraciadamente se ha ido deteriorando día a día con el propio desarrollo, esto obliga a un tratamiento cada vez amplio y complejo técnicamente (Eaton, 2015). El tratamiento mediante membranas presurizadas se perfila como el más apropiado para potabilizar agua de pozo. Dicho proceso es eficiente para la remoción de sulfatos, dureza total, sólidos disueltos totales, sodio, arsénico, entre otros contaminantes disueltos, dependiendo del nivel de rechazo iónico de las membranas utilizadas y de la presión aplicada en el proceso. El siguiente diagrama según procesos, muestra que, a diferencia de la filtración convencional, los procesos de membrana presurizada, específicamente la nanofiltración y la ósmosis inversa, remueven sólidos disueltos (Raymond, 1999).

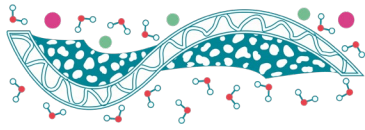
### Materiales y Métodos

Para llevar a cabo la evaluación de las membranas con diferente capacidad de rechazo nominal de sales, a fin de determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes clave (sulfatos, dureza, y sólidos disueltos totales) y calcular los costos de operación asociados (energía y reactivos), primeramente, se recolectó agua de pozo y se trasladó al laboratorio de filtración por membranas del IMTA. Para realizar las pruebas experimentales, se determinó la calidad del agua mediante el análisis de los parámetros que marca la Modificación del año 2000 de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (NOM-127). Enseguida se realizó la evaluación de tres tipos de membranas (2 de nanofiltración y 1 de ósmosis inversa), de diferente capacidad de remoción de sales y consumo energético, utilizando un equipo piloto de filtración por membranas. Finalmente, a partir de los resultados de las pruebas piloto, se obtuvieron los datos para en un trabajo posterior elaborar un diseño conceptual de un sistema de tratamiento.

### Resultados y Discusiones

El agua cruda presentó contaminación por turbiedad, sulfatos, dureza total, sólidos disueltos totales, hierro y manganeso. El empleo de cualquiera de los tres tipos de membranas evaluadas en el estudio permitió obtener agua potable de conformidad con la modificación del año 2000 a la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo, se encontraron ventajas técnicas y económicas de utilizar membranas de nanofiltración de baja presión y baja capacidad de rechazo de sales (~70 psi y ~40-70% de rechazo de iones monovalentes respectivamente) como son los modelos comerciales NE-70 de la marca CSM o NF270 de la marca DOW.





El empleo de la membrana de nanofiltración de baja presión permitió obtener el menor costo de operación del sistema de tratamiento (que fue de \$3.47/m<sup>3</sup> (ver tabla 1), el cual integra los costos asociados a energía, reactivos químicos y otros consumibles (membranas). En todos los casos se consideraron 2 kg/cm<sup>2</sup> de presión en la línea de conducción a la llegada de la planta.

El sistema de tratamiento óptimo utilizado consistió en filtración rápida seguida por filtración mediante membranas y posterior desinfección.

**Tabla 1.** Costo de operación obtenido al utilizar diversos tipos de membrana.

<b>Tipo de membrana</b>	<b>Costo de operación (\$/m<sup>3</sup>)</b>
Ósmosis inversa	5.24
Nanofiltración de alta presión	4.55
Nanofiltración de baja presión	3.47

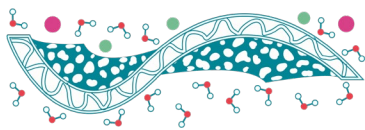
## Conclusiones

La membrana que presentó mejores resultados fue la de nanofiltración de baja presión, pues una de las ventajas que se obtuvo al fue que, a diferencia de las otras dos membranas evaluadas, el agua producto contuvo concentraciones de bicarbonatos, sólidos disueltos, dureza y pH tales que permitieron obtener un agua químicamente estable, sin tendencia a provocar corrosión en el sistema de distribución, ni problemas de salud por la ausencia de iones. Esto evita la necesidad de adicionar sistemas de remineralización, los cuales hacen más complejo el sistema, además de incidir en el costo de operación.

## Referencias

Eaton, Andrew D.; Franson, Mary Ann H. (2015). Standard methods for the examination of water and wastewater (21 ed.). American Public Health Association. ISBN 978-0-87553-047-5.

Raymond D. Letterman (1999). "Water Quality and Treatment." 5th Ed. (New York: American Water Works Association and McGraw-Hill.) ISBN 0-07-001659-3.



## Remoción de flúor y arsénico en agua destinada al uso y consumo humano mediante membranas

J.A. Bañuelos Díaz<sup>1\*</sup>, I.E. Villegas Mendoza<sup>1</sup>, A. Martín Domínguez<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550

\* E-mail: jennifer\_banuelos@tlaloc.imta.mx

**Palabras clave:** Flúor; Arsénico; Nano-filtración; Ósmosis inversa;

### Introducción

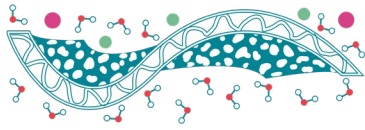
El agua de algunos pozos en nuestro país contiene elementos como arsénico (As) y flúor (F<sup>-</sup>) que se encuentran frecuentemente en concentraciones que exceden los límites permisibles por la modificación del año 2000 a la NOM-127-SSA1-1994 (As en 0.025 mg/L y F<sup>-</sup> en 1.5 mg/L). La exposición prolongada del ser humano al agua contaminada con arsénico genera problemas de salud crónicos como: cáncer de vejiga, pulmón, piel (Smedley & Kinniburgh, 2013); las afectaciones por exposición a fluoruros provocan fluorosis dental, deformación de huesos, fracturas, diversos tipos de cáncer y envejecimiento prematuro (Alarcón-Herrera et al., 2001). Las tecnologías disponibles para la eliminación simultánea de As y F<sup>-</sup> incluyen tratamientos químicos convencionales como coagulación química con sulfato de aluminio o policloruro de aluminio, adsorción y procesos de membranas. Sin embargo, la presencia de otros iones que compiten, tales como fosfato, silicato, nitrato, cloruro, carbonato y sulfato, afectan la eficiencia de remoción. La filtración con membranas presurizadas, ya sea de nanofiltración o de ósmosis inversa, es un proceso que cada vez se utiliza más para potabilizar agua. Es por ello, que en el presente estudio se evaluó técnica y económicamente el uso de procesos de nanofiltración y ósmosis inversa para la remoción simultánea de los dos contaminantes.

### Materiales y Métodos

Para el sistema de membranas, se utilizaron dos modelos de membranas comerciales de nanofiltración (CSM NE90 y NE70) y una de ósmosis inversa (Hydranautics CPA-5). Para llevar a cabo el estudio se utilizó una planta piloto de 15.85 GPM (1 L/s), que permite obtener niveles de recuperación de agua producto, similares a las obtenidas por sistemas de membranas de gran escala ( $\geq 70\%$ ). El equipo utiliza 18 membranas de 4" de diámetro por 18" de longitud que se colocan dentro de seis vasijas de alta presión (tres membranas en cada vasija). Para evaluar el efecto que tienen la concentración de arsénico y fluoruros al utilizar diferentes tipos de membranas, se emplearon tres diseños centrales compuestos (uno para cada tipo de membrana). Los factores a evaluar en cada diseño fueron la concentración de arsénico y de fluoruros. Durante el desarrollo de las pruebas se determinaron los siguientes parámetros de calidad, tanto en el agua cruda como en el agua producto (permeado): arsénico, fluoruros, dureza total, sulfatos, sólidos disueltos totales (SDT), alcalinidad, temperatura y pH.

### Resultados y Discusiones

El uso de membranas de ósmosis inversa de elevada capacidad de rechazo de iones monovalentes fue muy eficiente para remover simultáneamente el arsénico y los fluoruros. La eficiencia de remoción



promedio de arsénico en las 11 pruebas que integraron el diseño experimental fue de  $98.49\% \pm 0.75\%$ , mientras que para los fluoruros fue de  $97.61\% \pm 0.3\%$ . La Figura 1 muestra la eficiencia de remoción simultánea en cada una de las pruebas. Se obtuvieron elevadas eficiencias de remoción de arsénico al utilizar membranas de nanofiltración con baja capacidad de rechazo nominal de iones monovalentes. La remoción promedio (de las 11 pruebas que integraron el diseño experimental) fue de  $97.25\% \pm 1\%$ , sin embargo, la remoción de fluoruros fue baja, obteniéndose una remoción promedio de  $46\% \pm 3\%$ .

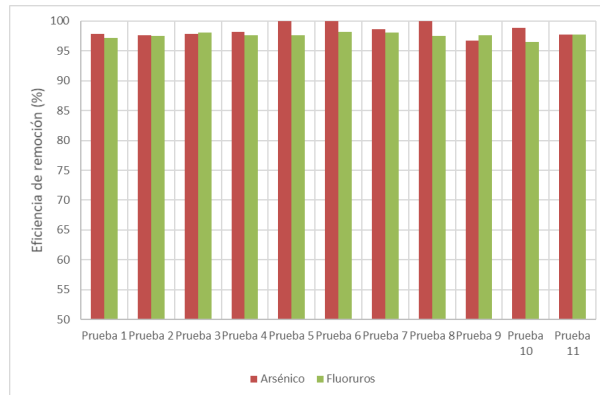


Figura 1. Eficiencia de remoción simultánea de As y F<sup>-</sup> en las pruebas que integraron el diseño experimental.

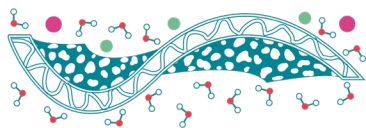
## Conclusiones

Los resultados obtenidos mostraron que las membranas de ósmosis inversa y de nanofiltración (CPA5 y NE90) son muy eficientes para remover simultáneamente As y F<sup>-</sup>, sin embargo, su empleo no es viable cuando la concentración de sílice en el agua de alimentación es elevada ( $\sim 100$  mg/L). Por otra parte, el empleo de membranas de nanofiltración NE70 permite operar a elevadas concentraciones de sílice, sin riesgo de formación de incrustaciones de sílice en las membranas, sin embargo, aunque remueve eficientemente el arsénico presente ( $97.25\% \pm 1\%$ ), ofrece una remoción moderada de fluoruros ( $46\% \pm 3\%$ ), por lo que no es viable su uso cuando la concentración de fluoruros en el agua cruda sea mayor a  $\sim 2.5$  mg/L.

## Referencias

Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2013). Arsenic in Groundwater and the Environment. En O. Selinus, Essentials of Medical Geology (págs. 283-286). New York: Springer.

Alarcón-Herrera, M.T., Martín-Domínguez, I.R., Trejo-Vazquez, R., Rodríguez-Dozal, S. (2001). Well water fluoride, dental fluorosis, and bone fractures in the Guadiana Valley of Mexico. Fluoride;34(2):139-149.



## Separación de fluoruros del agua potable del municipio de Ojocaliente Zacatecas empleando perlas de gel de quitosano

M.V. Sandoval Alvarado<sup>1</sup>, R. Conejo Flores<sup>1</sup>, J. Guzmán Pantoja<sup>2</sup>, J.M. García González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unidad Académica de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zac.

<sup>2</sup> Gerencia de Refinación de Hidrocarburos, Dirección de Investigación en Transformación de Hidrocarburos, Instituto Mexicano del Petróleo, Ciudad de México, Mexico

\* E-mail: jmgarcia@uaz.edu.mx

**Palabras clave:** Fluoruros; quitosano; agua potable

### Introducción

En México, millones de personas padecen efectos en salud provocados por agua de consumo de mala calidad, contaminada principalmente por elementos químicos tóxicos, como es el caso del flúor y sus compuestos (Deogracias, 2015)

La normatividad mexicana establece como concentración máxima permisible 1.5 mg/L de flúor en el agua de abastecimiento público (NOM -127-SSA1-1994) y 0.7 mg/L como máximo permisible para agua embotellada (NOM041-SSA1-1993) (Alarcón *et al.*, 2002).

Para poder prevenir los daños que puede causar el flúor mencionados anteriormente, existen diversos métodos para la remoción de los fluoruros del agua, los cuales se pueden dividir en dos grupos: métodos de remoción de alto costo y métodos de remoción de bajo costo (Trejo & Hernández, 2004)

El quitosano, sorbente elegido para esta investigación, es uno de los pocos polisacáridos catiónicos naturales que dentro de sus principales ventajas se encuentra que es un polímero biodegradable, no tóxico, semipermeable y biocompatible debido a que se extrae de la quitina que se encuentra en el exoesqueleto de algunos crustáceos o insectos y en paredes celulares de ciertos hongos como los ascomicetos y en algas como las diatomeas (Martínez, 2009). La estructura del quitosano cuenta con grupos aminos que hacen que sea un material versátil que permite realizar la sorción de los fluoruros.

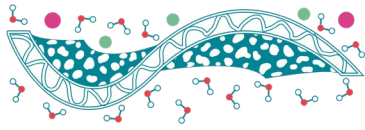
El objetivo de este estudio es analizar la viabilidad de remoción de fluoruros del agua potable del municipio de Ojocaliente en el estado de Zacatecas utilizando perlas de gel de quitosano.

### Materiales y Métodos

El material empleado fue: perlas de gel de quitosano elaboradas en el Instituto Mexicano del Petróleo. Agua potable de la ciudad de Ojocaliente, Zac., y kits para las pruebas fisicoquímicas de caracterización. La metodología empleada fue: Recolección de muestras de agua potable y su caracterización. Determinación de la capacidad de sorción de las perlas de gel de quitosano.

### Resultados y Discusiones

En la Tabla 1, se presenta la caracterización fisicoquímica realizada a las muestras del agua que se obtuvieron en la ciudad de Ojocaliente, Zac. se observa que la cantidad de compuestos de flúor y el pH están arriba de la norma para el consumo humano.



**Tabla 1.** Resultados de la caracterización inicial del agua potable de la ciudad de Ojocaliente, Zac.

Evaluación	Valor
Dureza (ppm)	120.00
pH	10.13
Conductividad (Ms)	0.35
Cloruros (ppm)	30.0
Temperatura (°C)	19.10
Fluoruros (ppm)	3.60

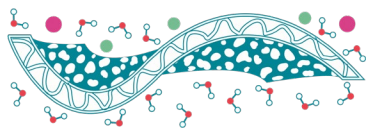
Para determinar la capacidad de sorción de las perlas de gel de quitosano, se tomó una alícuota de 150 ml la cual se dividió en tres matraces de 50 ml, se les agregó 0.3 gramos de perlas a cada uno. Se agitaron a 100 rpm durante ocho horas. La capacidad obtenida fue de 0.067 mg de compuestos de flúor/g de perla. El porcentaje de compuestos de flúor retirados en una etapa de separación mediante las perlas de gel de quitosano fue del 11.11 %.

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se requieren como mínimo seis etapas para alcanzar el límite permisible. Por lo tanto se debe de realizar un análisis de viabilidad económica por la cantidad de agua que se tiene que tratar por día para el consumo de la población en la ciudad de Ojocaliente, Zac., además de la determinación de ciclos de sorción-desorción, así como, el tiempo de vida media del material en la operación.

## Referencias

- Alarcón Herrera M. T, Martín Domínguez A., Martín Domínguez I. (2002) *Concentración de flúor en el agua potable: su relación en la fluorosis dental*. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, pág. 1.
- Deogracias Ortíz, M. (2015). *El agua potable para el consumo humano*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, pág. 3.
- Martínez Camacho A. P. (2009). *Propiedades estructurales y fungistáticas de biopelículas de quitosano obtenido de ensilados de desecho de camarón*, Recuperado en línea: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19407/capitulo2.pdf> Fecha de recuperación: Abril de 2019 pág. 1
- Trejo Vázquez R., Hernández Montoya V. (2004). *Estado del arte de la remoción de fluoruros del agua*. Instituto Tecnológico de Aguascalientes, pág. 2-3.



## Estudio de la eficiencia de una membrana PP/Q en la remoción de As V utilizando FT-IR-ATR

J. J. García-García<sup>1</sup>, D.L. Miranda Martínez, D.L. Dimas López, R. Natividad Rangel, R. M. Gómez-Espinosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM, km 14.5 Carretera Toluca-Atzacolulco, San Cayetano, 50200 Toluca, MEX, México

\* E-mail: [rmgomeze@uaemex.mx](mailto:rmgomeze@uaemex.mx)

**Palabras clave:** Membrana; polipropileno; quitosano; arsénico V

### Introducción

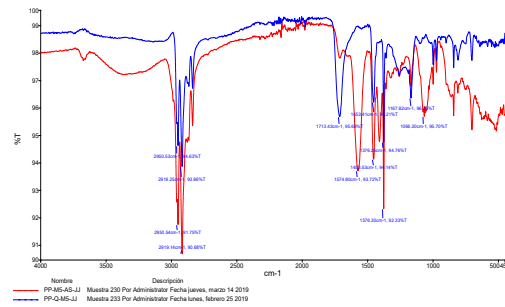
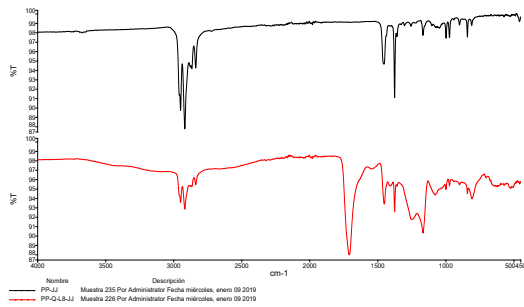
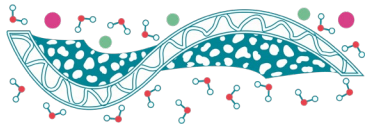
Debido a la urbanización e industrialización del agua, los cuerpos de agua se están contaminando con diferentes metales pesados y metaloides como el arsénico. La toxicidad del arsénico en humanos en niveles bajos es bien conocida<sup>1</sup>. La presencia de arsénico en el agua provoca cáncer, enfermedades del corazón, oscurecimiento de la piel, dolor abdominal y vómitos<sup>2</sup>. Muchos países en el mundo entre ellos México han reportado problemas graves de salud por el arsénico. Para superar estos riesgos la Comisión Nacional del Agua en México ha empleado 200 sistemas de membranas de osmosis inversa para eliminar el arsénico del agua<sup>3</sup>. Sin embargo, hay muchas tecnologías emergentes utilizadas para la remoción, entre estas tecnologías encontramos a la filtración preferida para eliminar el arsénico del agua debido a su alta eficiencia, baja energía de consumo y alto rendimiento de filtración. En el presente trabajo se refiere al uso del quitosano<sup>4</sup> como compuesto de injerto para modificar el polipropileno utilizando una fuente de energía UV para obtener membranas con capacidad de remoción de arsénico V y posible biodegradabilidad después del uso. Las membranas modificadas con el quitosano y las membranas en contacto con el ion As V fueron caracterizadas por la técnica analítica cualitativa espectroscopia Infrarrojo con Transformada de Fourier acoplado a Reflectancia total atenuada (FT-IR-ATR).

### Materiales y Métodos

La superficie de la membrana de PP fue modificada por quitosano a través de una reacción de copolimerización por injerto, usando UV se llevó a cabo entre la membrana de polipropileno, el ácido acrílico, benzofenona (como fotoiniciador) y biopolímero (quitosano). Por otro lado se utilizó una solución a diferentes concentraciones (mg L) (0.020; 0.040; 0.060; 0.100; 0.200) de As V ( $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), que estuvieron en contacto con las membranas en agitación. Mediante un espectrómetro infrarrojo Bruker Tensor 27 se evaluó si la membrana fue funcionalizada y si tuvo cambios después de estar en contacto con la solución de As V

### Resultados y Discusiones

El análisis por Infrarrojo FT-IR-ATR, confirma la presencia de grupos funcionales que provienen de la modificación a la membrana de polipropileno con quitosano (rojo),  $1718\text{ cm}^{-1}$ ;  $1454\text{ cm}^{-1}$  y  $808\text{ cm}^{-1}$ , las señales de O=C-NH-R,  $2950\text{ cm}^{-1}$ ;  $2918\text{ cm}^{-1}$ ,  $1376\text{ cm}^{-1}$  las señales de CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>,  $1167\text{ cm}^{-1}$  señal de C-O,  $3328\text{ cm}^{-1}$  señal de R-NH-R,  $1571\text{ cm}^{-1}$  señal de N-H primario,  $3675\text{ cm}^{-1}$  señal de O-H sobretono. Además, se compara una membrana no modificada mostro las señales de absorbancia a:  $2918\text{ cm}^{-1}$  (estiramiento de CH<sub>2</sub>),  $2848\text{ cm}^{-1}$  (CH<sub>2</sub> estiramiento simétrico vibración),  $1455\text{ cm}^{-1}$  y  $1380\text{ cm}^{-1}$ ,  $13161\text{ cm}^{-1}$  de vibración estiramiento de N-H,  $1644\text{ cm}^{-1}$  la señal de O-H,  $1704\text{ cm}^{-1}$  la vibración de C=O, Figura 1.



Por otro lado, la membrana modificada se puso en contacto con la solución de arsénico V y los resultados de FT-IR-ATR mostraron un claro desplazamiento de la banda de  $1718\text{ cm}^{-1}$ , hasta  $1571\text{ cm}^{-1}$ , indicando que los grupos funcionales,  $-\text{HN}-\text{C}=\text{O}$ , se están coordinando, Figura 2.

## Conclusiones

Un nuevo material modificado fue obtenido usando la reacción de copolimerización por injerto inducida por la radiación. El quitosano resulto una buena alternativa para modificar la membrana de polipropileno, cambiando su estado físico y químico. Por lo tanto, se utilizó para la remoción de iones As V. Se propone que los iones metálicos se coordinaron con los grupos hidroxilo y amino injertados lo que favoreció la remoción de As V en la solución acuosa.

## Referencias

1. Brandhuber, P., & Amy, G. (1998). Alternative methods for membrane filtration of arsenic from drinking water. *Desalination*, 117(1-3), 1-10.
2. Pandey, N., & Bhatt, R. (2018). Improved biotransformation of arsenic by arsenite oxidase-Chitosan nanoparticle conjugates. *International journal of biological macromolecules*, 106, 258-265.
3. Nevárez, L. M., Casarrubias, L. B., Canto, O. S., Celzard, A., Fierro, V., Gómez, R. I., & Sánchez, G. G. (2011). Biopolymers-based nanocomposites: Membranes from propionated lignin and cellulose for water purification. *Carbohydrate polymers*, 86(2), 732-741.
4. Paulino, A. T., Guilherme, M. R., Reis, A. V., Campese, G. M., Muniz, E. C., & Nozaki, J. (2006). Removal of methylene blue dye from an aqueous media using superabsorbent hydrogel supported on modified polysaccharide. *Journal of Colloid and Interface Science*, 301(1), 55-62.