

Reporte técnico del sub-programa:

## DESARROLLO DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS Y ENSAMBLES MEMBRANA ELECTRODO (DeMePol)

**Coordinador:** Dr. Roberto Benavides Cantú (CIQA)

### a) ASPECTOS BÁSICOS

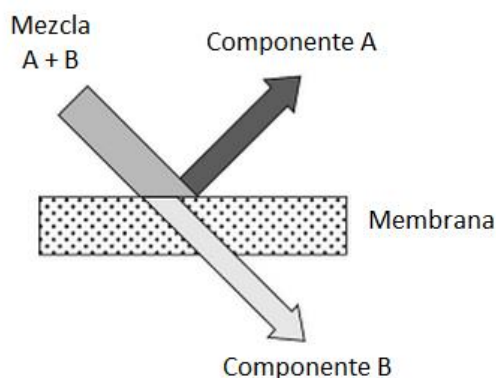
El subprograma DeMePol comprometió (Tabla 1) actividades relacionadas con los aspectos básicos del trabajo relacionado con el área de membranas poliméricas que involucraban el montaje y exhibición de prototipos, la participación de estudiantes y divulgación en cursos y talleres. Lo anterior se obtuvo durante el desarrollo de los diferentes proyectos que conforman el subprograma. Hubo exhibición de prototipos durante el congreso anual de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno, las actividades fueron apoyadas por estudiantes y se participó en cursos y talleres organizados por la misma asociación.

Tabla 1.- Aspectos básicos comprometidos en propuesta

| Aspecto           | Actividad   | Participante | Duración | Meta o producto   |
|-------------------|---|--------------|----------|---|
| Básico, Académico | Curso actualización en Tecnologías de H <sub>2</sub> -PEMFC | Estudiantes  | 1 día    | Curso pre-congreso para actualización a estudiantes involucrados con tecnologías de hidrógeno |
| Básico            | Organización del Simposio EQI 2015                          | Estudiantes  | 1 semana | Memorias de congreso  |

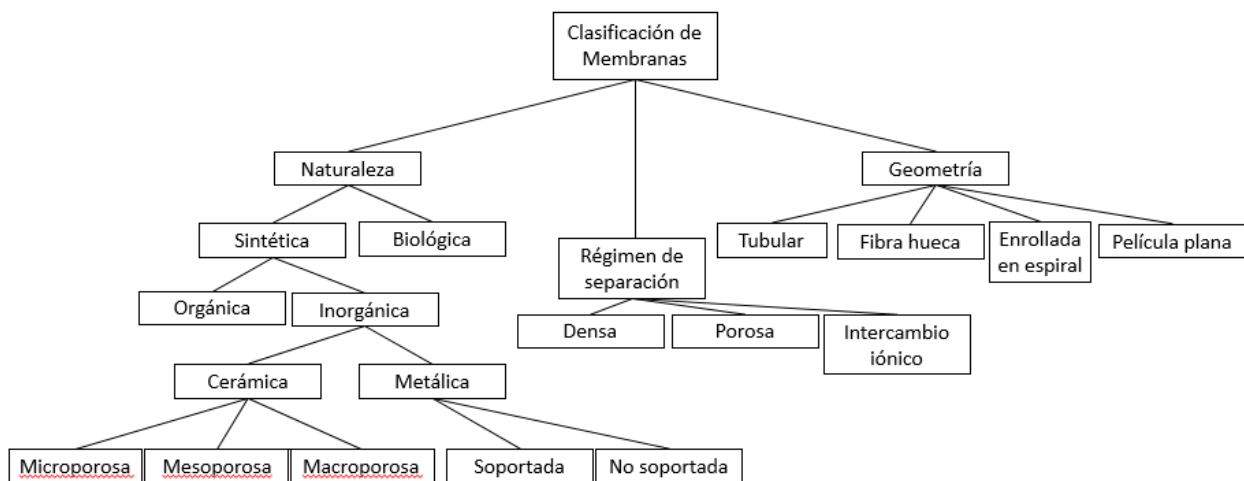
Además de esto se preparó el siguiente documento relacionado con el estado del arte de las membranas poliméricas de uso en celdas de combustible:

**Estado del arte.-** De acuerdo a la IUPAC una membrana puede ser descrita, como una estructura que tiene dimensiones laterales mucho mayores que su grosor, a través de la cual puede ocurrir una transferencia de masa bajo una variedad de fuerzas impulsoras tales como gradientes de concentración, presión, temperatura, potencial eléctrico, etc. De manera general, la función que llevará a cabo la membrana dentro de cualquier proceso es dejar pasar a través de ella solo un tipo de componente a partir de una mezcla. En la **figura 1** se muestra el funcionamiento ideal de una membrana.



**Figura 1.** Principio básico del funcionamiento de una membrana.

Las membranas pueden ser clasificadas de acuerdo a su naturaleza química, geometría y régimen de separación. La **figura 2** muestra un esquema de la clasificación de las membranas y sus respectivas subdivisiones, las cuales serán abordadas a continuación.



**Figura 2.** Esquema general de clasificación de membranas.

Considerando específicamente las *membranas sintéticas*, pueden ser de tipo orgánico e inorgánico. Las *membranas sintéticas inorgánicas*, a su vez, pueden ser del tipo cerámico o metálico y son más estables mecánica, térmica y químicamente que las membranas poliméricas. Generalmente, las membranas inorgánicas son estables entre 200-800 °C y en algunos casos pueden operar a temperaturas superiores a 1000 °C (membranas cerámicas). Los materiales más comúnmente empleados usados en la obtención de membranas cerámicas son  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ , etc. o una combinación de éstos.

Las membranas cerámicas pueden ser divididas de acuerdo a su diámetro de poro en microporosa ( $d_p < 2\text{nm}$ ), mesoporosa ( $2\text{nm} < d_p < 50\text{nm}$ ) y macroporosa ( $d_p > 50\text{nm}$ ). Finalmente, las membranas metálicas pueden ser divididas en soportadas y no soportadas.

Las *membranas sintéticas orgánicas* son conocidas también como **membranas poliméricas**, debido al origen de los materiales (polímeros orgánicos). Estas constituyen el campo más amplio y desarrollado de las membranas. El motivo principal, está relacionado con la versatilidad característica de los polímeros que los ha hecho también imprescindibles en otras aplicaciones tecnológicas e industriales. Esto ha permitido generar un mayor rango de aplicaciones, como recubrimientos protectores (pintura), propiedades barrera para películas de empaque, separación de gases, procesos de purificación de agua que incluyen osmosis inversa, nano, ultra y microfiltración, electrodiálisis, diálisis y hemodiálisis.

Para 1987 ya se habían investigado y reportado más de 150 polímeros diferentes para la fabricación de membranas. Las primeras membranas comerciales se basaron en acetatos de celulosa y polisulfona. Después, otros polímeros como polietersulfona, poliacrilonitrilo, fluoruros de polivinilideno, policarbonato, poliamida, poliimida, polieterimida, etc., se fueron empleando poco a poco. En 1996 la lista de polímeros utilizados en membranas comerciales se redujo. En la **tabla 2** se resumen los principales polímeros utilizados en la preparación de membranas y los

procesos de separación más comunes donde se les ha empleado. En la tabla se resaltan aquellos que han tenido un mayor impacto comercial en los últimos años (a partir de 2008).

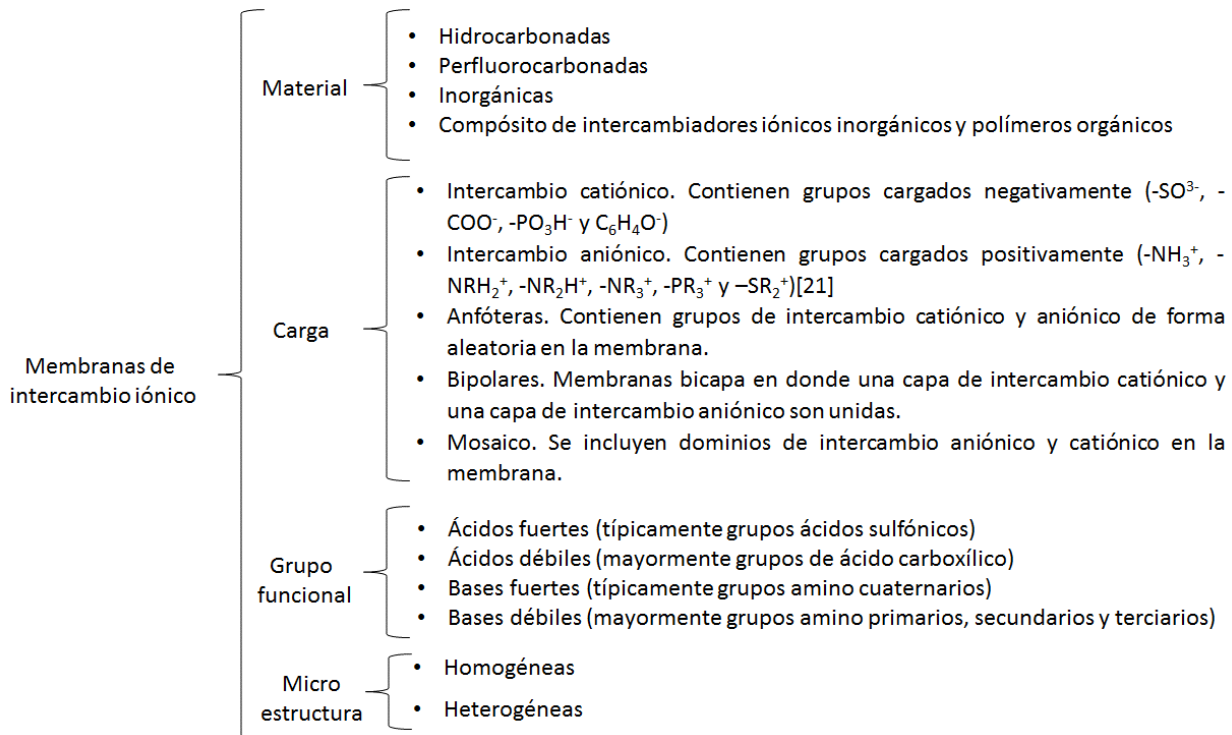
**Tabla 2.** Polímeros empleados en membranas y procesos de separación.

| Polímero                   | Acrónimo | Proceso de separación <sup>a</sup> | Polímero                 | Acrónimo | Proceso de separación <sup>a</sup> |
|----------------------------|----------|------------------------------------|--------------------------|----------|------------------------------------|
| <u>Celulosa</u>            | Cell     | D                                  | <u>Polisulfona</u>       | PSu      | Uf                                 |
| <u>Acetato de</u>          |          | RO, UF,                            | <u>Poliamida</u>         |          |                                    |
|                            | CA       | MF, D, GS                          | lineal                   | PARA     | UO                                 |
| <u>Celulosa</u>            |          |                                    | entrecruzada             |          |                                    |
| Triacetato de celulosa     | CTA      | RO                                 | Polióxido de fenileno    | PPO      | UF, GS                             |
| Nitrato de celulosa        | CN       | UF                                 | <u>Poliamida</u>         | PA       | UF                                 |
| Polietileno                | PE       | PV, GS                             | <u>Polietersulfona</u>   | PESu     | UF                                 |
| Policloruro de             | PVC      | MF                                 | Polieteramida            | PEA      | RO                                 |
| <u>Polifluoruro de</u>     |          | UF, MF, ED                         | <u>Polieteramida</u>     |          |                                    |
| <u>vinilideno</u>          | PVDF     |                                    | <u>en bloque</u>         | PEBA     | PV                                 |
| Poltetrafluoroetilen       | PTFE     | MF, ED                             | <u>Polieterimida</u>     | PEI      | GS                                 |
| <u>Poliacrilonitrilo</u>   | PAN      | D, UF                              | Poliamidaimida           | PAI      | UF, GS                             |
| Polimetilmetacrilat        | PMMA     | D                                  | Poliamidahidra           | PAH      | RO                                 |
| Alcohol polivinílico       | PVA      | D, PV                              | Polibenzoimida           | PBIN     | RO                                 |
| Polipropileno              | PP       | MF, MD                             | Polipiperizinam          | PPiA     | RO                                 |
| Polimetilpentanal          | PMP      | GS                                 | Polifurfural             | PFU      | RO                                 |
| Poliétilentereftalato      | PET      | MF                                 | Poliurea                 | PU       | RO                                 |
| Polibutilentereftalat      | PBTf     | GS                                 | Polifosfaceno            | PPN      | GS, PV                             |
| <u>Policarbonato</u>       | PC       | D, MF                              | Poliacrilonitrilo        | PAN      | GS, PV                             |
| Polidimetilsiloxano        | PDMSi    | GS, PV                             | <u>Polieteretercet</u>   | PEEK     | GS                                 |
| Poli trimetilsilil propino | PTMSP    | GS                                 | Complejo polielectrolíto | PEL      | UF, PV                             |

<sup>a</sup> **D**=Diálisis, **MF**=Microfiltración, **UF**=Ultrafiltración, **RO**=Ósmosis inversa, **GS**=Separación de gases, **PV**=Pervaporación, **MD**=Membrana de destilación, **VP**=Permeación de vapor y **ED**=Electrodiálisis

Como se ha descrito anteriormente, las membranas poli-electrolíticas juegan un rol importante en el área de investigación y en aplicaciones tecnológicas e industriales. Particularmente, las membranas de intercambio iónico (IEMs, por sus siglas en inglés *ion exchange membrane*) se han aplicado con éxito en la desalinización de agua de mar, tratamiento de efluentes industriales, concentración o separación de alimentos o productos farmacéuticos que contengan especies iónicas.

Las IEMs son láminas o películas delgadas que contienen grupos químicos cargados, unidos covalentemente a la cadena principal del polímero y que pueden intercambiar sus iones móviles por iones de carga similar del medio circundante. El funcionamiento de estas depende el tipo de material, carga superficial, grupos funcionales y micro-estructura. En la **figura 3** se esquematiza en detalle esta clasificación.

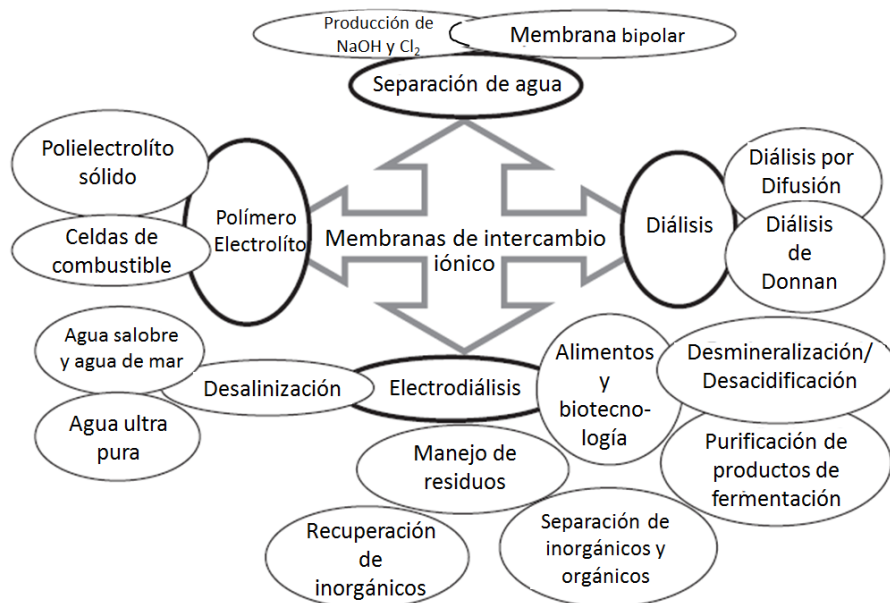


**Figura 3.** Clasificación de las membranas de intercambio iónico.

El desarrollo de las IEMs comenzó con estudios de Michaelis sobre membranas permeables a iones y membranas de tipo “coloidón” quien reconoció el efecto de la carga de la membrana en la permeación de iones a través de la membrana. Posteriormente Meyer modificó la membrana coloidón, siendo ésta la primera membrana artificial cargada. La síntesis de las membranas fue reportada en 1950 por Juda y MacRae. En 1959 se realiza la instalación de la primer planta desalinizadora en Coalinga, California. En 1977 Asahi Chemicals introdujo la industria cloro-álcali para la generación de  $\text{Cl}_2$  y  $\text{NaOH}$  a partir de  $\text{NaCl}$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . A esto le siguió la introducción de la membrana de Nafion® (ácido perfluorosulfónico) por Diamond Shamrock y DuPont para la misma industria en 1979.

Las aplicaciones del intercambio iónico son numerosas y cubren un amplio rango de industrias y en menor proporción en usos residenciales. Se han realizado varias evaluaciones en donde las membranas de intercambio iónico se han usado como sensores de humedad, sensores de monóxido de carbono, sistemas de liberación de fármacos, electrolitos poliméricos sólidos, desalinización, electrodiálisis en la industria alimenticia, para la estabilización de vinos, separación de amino ácidos y sales minerales, recuperación de minerales, producción de ácidos, etc.

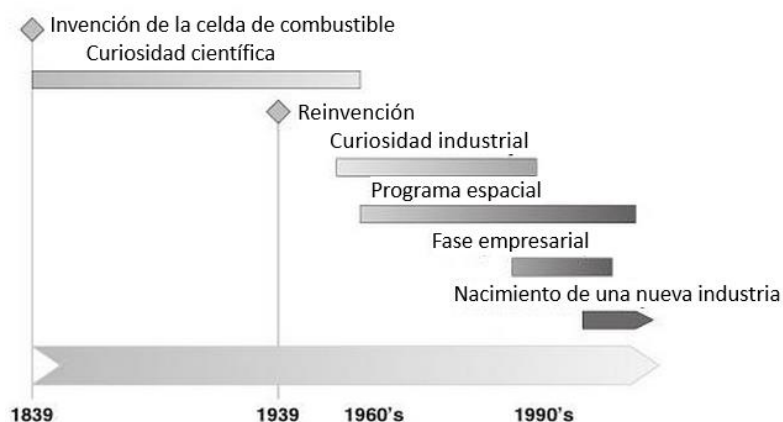
En la **figura 4** se muestra la diversidad de procesos y aplicaciones industriales de las membranas de intercambio iónico.



**Figura 4.** Representación de la diversidad de procesos y aplicaciones industriales de las IEMs.

De los procesos y/o aplicaciones mostrados en la **figura 4**, en las últimas décadas el desarrollo de membranas de polímero electrolito para celdas de combustible es de gran relevancia por parte de diversos grupos de investigación en todo el mundo. Estos dispositivos, son capaces de generar energía para una variedad de aplicaciones, que van desde estacionarias, transporte automotriz hasta electrónica portátil para dispositivos militares. Sin embargo la comercialización de las PEMFCs sigue siendo un desafío, debido al costo, desempeño y durabilidad de sus componentes.

Una celda de combustible (*FC*, por sus siglas en inglés) es un dispositivo electroquímico capaz de generar energía eléctrica a partir de reacciones químicas. Las celdas de combustible han sido y siguen siendo consideradas como el principal sustituto de los motores de combustión interna y baterías para aplicaciones estacionarias, de transporte y dispositivos móviles. En la **figura 5** se muestra el avance cronológico que han tenido las celdas de combustible.



**Figura 5.** Línea del tiempo de la celda de combustible.

Una celda de combustible opera como una batería, pero sin la necesidad de recargarse, siempre y cuando, el combustible y el oxidante sean suministrados de forma continua. La estructura básica de la mayoría de las celdas de combustible consiste de una capa de electrolito polimérico en contacto entre dos electrodos (ánodo y cátodo). La conducción de iones ( $H^+$  ó  $OH^-$ ) a través del electrolito puede ocurrir en cualquier dirección –ánodo a cátodo ó cátodo a ánodo– dependiendo de la celda de combustible. La celda de combustible puede ser diseñada para que conduzca especies seleccionadas. Si se utiliza una pila de combustible en específico, que ha sido diseñada para permitir la conducción de una especie particular, entonces ya sea el oxidante o el combustible deben ser transformados en el cátodo o ánodo, respectivamente, en las especies portadoras de carga.

En una celda de combustible típica de conducción de protones, el combustible gaseoso es alimentado continuamente a la sección del ánodo (electrodo negativo) y un oxidante (por ejemplo el  $O_2$  del aire) es alimentado continuamente a la sección del cátodo (electrodo positivo). Con la ayuda de un catalizador, el átomo de hidrógeno se oxida en un protón ( $H^+$ ) y un electrón ( $e^-$ ). El protón debe ser transportado hacia el cátodo para reaccionar con el  $O_2$ , a través del electrolito; mientras que el electrón viaja mediante un circuito externo para cerrar el circuito. Entre los distintos polímeros, las membranas de ácido perfluorosulfónico tales como Nafion (desarrollado por la compañía Dupont), han sido las más utilizadas como electrolito polimérico en procesos electroquímicos de separación, como en la industria del cloro-álcali y más recientemente como membrana de conducción de protones en celdas de combustible. De hecho, el Nafion es el polímero más ampliamente utilizado como membrana en PEMFC y DMFC. Hasta hace algunos años había cubierto las principales necesidades de operación. Sin embargo, presentan algunas desventajas como:

- Relativamente costosas (US \$ 800/m<sup>2</sup>)
- Inestables a temperaturas superiores a 80 °C
- Permeabilidad de metanol, cuando se utiliza metanol como combustible (DMFC)

El costo de la membrana de una batería de celdas de combustible puede alcanzar el 30 % del costo total del sistema. Sus propiedades son de suma importancia para el correcto funcionamiento y comercialización de las PEMFC y DMFC. Pueden ser categorizados de acuerdo a:

- i) el material polimérico de la membrana, incluyendo la cadena principal, las cadenas laterales y los rellenos o materiales de soporte que se han agregado para mejorar las propiedades buscadas del material;
- ii) el portador de carga, el cual puede ser el agua o un medio iónico como el ácido fosfórico o un líquido iónico como el tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio.

Considerando el segundo criterio, entre las membranas que utilizan el agua como medio portador de protones se encuentran el Nafion, otras membranas fluoradas y una gran clase de hidrocarburos aromáticos sulfonados. Las membranas que no usan agua como medio de transporte son sistemas ácido-base como el polibenzimidazol dopado<sup>2</sup> con ácido fosfórico. En base a estas y otras diferencias, es como se han clasificado las familias de polímeros usados en PEMFC.

En la **tabla 3** se presentan cuatro de las principales familias, no obstante no hay que perder de vista que en la literatura pueden encontrarse otras maneras de clasificarlos.

**Tabla 3.** Familias de polímeros usados como polielectrolitos.

| <b>Polímeros aromáticos sulfonados</b>   | <b>Copolímeros sulfonados</b>  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fenol formaldehído</li> <li>• Poliestirenos (PS)</li> <li>• Polifosfacenos (PPZ)</li> <li>• Polifenilenquinoxalina (PPQ)</li> <li>• Óxido polifenileno (PPO)</li> <li>• Polisulfonas (PES)</li> <li>• Polieteretercetona (PEEK)</li> <li>• Polifenilensulfitos</li> <li>• Poliimidias (PI)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Copolímero en bloque de estireno-propileno</li> <li>• Copolímero en bloque de estireno-butadieno</li> <li>• Copolímero en bloque de estireno-propileno-etileno</li> </ul> |
| <b>Polímeros heterocíclicos</b>  | <b>Polímeros fluorados</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polibenzimidazoles</li> <li>• Polioxadiazoles</li> <li>• Politriazoles</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ionómeros sulfonados (Nafión)</li> <li>• Poli(trifluoroestireno) sulfonado</li> <li>• Polímeros fluorados de injerto</li> </ul>   |

Haciendo una revisión bibliográfica de aquellos polímeros que han sido objeto de mayor estudio, se encontró que el polibenzimidazol (PBI), el polieteretercetona (PEEK) y la poliimida (PI) son los que más trabajos de investigación han generado en la última década. El criterio para realizar la búsqueda de los mismos es el uso en celdas de combustible (PEMFC, DMFC) con temperaturas de operación en el rango de 50-120°C. Se puso particular atención en aquellas membranas con temperaturas de operación en celda de 80 °C, a esta temperatura las propiedades de la membrana comienzan a ser drásticamente afectadas (como se describió anteriormente).

Dado que una de las aplicaciones principales de las celdas de combustible de mayor impacto ambiental, son las de transporte, el departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) ha establecido parámetros específicos para la sustitución de los motores de combustión interna por PEMFC, entre los cuales destacan: una temperatura de 120 °C con un 50 % de humedad relativa y una  $\sigma$  de 0.1 S/cm .

**Catálogo de Infraestructura.**- Los integrantes del subprograma tienen en sus respectivas instituciones la siguiente infraestructura:

CINVESTAV Saltillo

- Potenciostato
- Bipotenciostato
- Estación de pruebas de celdas de combustible
- Horno tubular
- Horno de microondas
- Equipo de caracterización fisicoquímica (XRD-EDS, SEM)

### CINVESTAV Zacatenco

- Potenciostato-galvanostato PARC 2273
- Centrífuga Metrix-velocity 18R
- Balanza analítica FA 2204B
- Electrodo rotatorio PINE MSR3
- Módulo de pruebas Celda de combustible
- Parrillas de calentamiento

### CIQA

- Laboratorio de síntesis de polímeros
- Potenciostato-galvanostato BioLogic SP300 y disco rotatorio
- Equipo de procesamiento piloto para materiales poliméricos y para medición de props. mecánicas
- Equipo de medición de propiedades reológicas de polímeros
- Equipo de medición de propiedades térmicas (DSC, TGA, TMA, DMA)
- Difracción de rayos-X
- Equipo GPC para pesos moleculares en polímeros (alta y baja temperatura)
- Microscopía óptica y electrónica (SEM, TEM, AFM)
- Equipos de espectroscopía (UV-Vis, Fluorescencia, FTIR, RAMAN, RMN)

### IIE

- Sistema automatizado para fabricación de MEAs.
  - Máquina de control numérico para maquinado de componentes.
  - Equipo para mediciones electroquímicas.
  - Estación de pruebas para monoceldas y stacks de celdas de combustible.
  - Humidificador para membranas
- Celda conductividad y transporte de agua en membranas

### b).- ASPECTOS ACADÉMICOS

Los miembros del subprograma propusieron (Tabla 4) realizar actividades técnicas durante visitas a diferentes instituciones, particularmente de estudiantes, así como la participación de los mismos en los productos de divulgación de los resultados. Se programaron visitas técnicas:

Tabla 4.- Aspectos académicos comprometidos en la propuesta

| <b>Aspecto</b>    | <b>Actividad</b>  | <b>Participante</b> | <b>Duración</b> | <b>Meta o producto</b>  |
|-------------------|---|---------------------|-----------------|---|
| Académico         | Estancia UPV, España  | Estudiante          | 6 meses         | Caracterización MEAs  |
| Académico         | Estancia UT, USA  | Estudiante          | 6 meses         | Simulación molecular  |
| Básico, Académico | Curso actualización en Tecnologías de H <sub>2</sub> -PEMFC | Estudiantes         | 1 día           | Curso pre-congreso para actualización a estudiantes involucrados con tecnologías de hidrógeno |
| Académico         | Asistencia a un congreso                                    | Estudiantes         | 1 semana        | Presentar resultados en el congreso de la Sociedad Mexicana                                   |



|                                       |  |              |  |   |
|---------------------------------------|--|--------------|--|---|
|                                       | nacional   |              |  | del Hidrógeno 2015  |
| Académico                             | Asistencia a un congreso internacional                           | Investigador | 1 semana   | Presentar resultados en el Electrochemical Society Meeting 2015       |
| Académico                             | Estancias en UNT <sup>1</sup> y Cinvestav Zacatenco <sup>2</sup> | Estudiantes  | Dos meses <sup>1</sup> ,<br>15 días <sup>2</sup> | Caracterización de electrocatalizadores por HR-TEM, HAADF-STEM, XPS   |
| Académico                             | Estancia en UNT  | Investigador | 1 semana   | Caracterización de electrodos y MEAs por HR-SEM.                      |
| Vinculación, Internacional, Académico | Estancia Greenlight y SFU  | Investigador | 1 semana   | Informe con resultados experimentales de durabilidad                  |
| Vinculación Académico                 | Estancia en CICY   | Investigador | 1 semana   | Programa de incorporación de nuevos MEAs en celdas de alcohol directo |
| Académico                             | Estancia en IIE  | Investigador | 2 semanas  | Evaluación de transporte de agua en membranas                         |
| Académico                             | Estancia en UNESC  | Investigador | 1 semana   | Reacciones de síntesis de copolímeros                                 |
| Académico                             | Estancia en Italia   | Investigador | 2 semanas  | Evaluación de membranas   |

Los tres primeros eventos corresponden al proyecto de Cinvestav-Zacatenco y se llevaron en tiempo y forma; los estudiantes hicieron sus estancia en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y en la Universidad de Texas (UT) y el se organizó el Simposio “Hidrógeno - Celdas de Combustible - Energías Renovables Biológicas”.

Las siguientes 4 actividades corresponden al proyecto de Cinvestav-Salttilo, de los cuáles 3 de ellos se llevaron en tiempo y forma y solamente la estancia del investigador en la UNT no se desarrolló por retraso en los recursos y falta de tiempo. Las otras tres actividades se llevaron a cabo con la estancia de dos estudiantes en la Universidad de North Texas (UNT) y en Cinvestav-Zacatenco, la asistencia de estudiantes al congreso internacional de la Sociedad Mexicana de Hidrógeno y la asistencia de un investigador en Phoenix, USA para un congreso internacional.

Las siguientes dos actividades corresponden al proyecto del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y se llevaron a cabo aunque con variantes: la estancia en la empresa Greenlight y SFU de Canadá no se realizó por retrasos en los recursos y falta de tiempo, aunque se convirtió en una asistencia de la investigadora del IIE a un congreso en Los Angeles, USA, para entrevistarse con el personal de Canadá, consiguiéndose parcialmente el propósito de lo programado. La otra estancia se cambió a el CIQA en lugar del CICY, donde se realizó trabajo de evaluación de membranas.

Las últimas tres actividades propuestas corresponden al proyecto del CIQA, donde se realizó en tiempo y forma la estancia de trabajo al IIE por parte de un investigador, la otra estancia de trabajo en la UNESC, Brasil por parte de otro investigador y la estancia en Italia, programada

para la segunda quincena de diciembre se reprogramó para el primer semestre de 2016 por problemas personales de salud del investigador (cambio de fecha de pasaje aéreo).

#### c).- ASPECTOS DE VINCULACIÓN

El subprograma programó preparar un catálogo de empresas involucradas con el uso de membranas polielectrolíticas y una cartera de especialidades tecnológicas para ofrecer a la industria. Al momento no se consiguió tener la cartera de empresas por ser difícil de localizar, solamente el contacto con la empresa canadiense Greenlight Innovations (GI), que a su vez está asociada con la Simon Fraser University. Lo que sí se ha desarrollado ampliamente es la colaboración con instituciones extranjeras para mantener trabajos en colaboración, como son: Universidad Politécnica de Valencia, España, Universidad de Texas, USA, Universidad de North Texas, USA, Simon Fraser University, Canadá, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Brasil y Institute of Advanced Technologies for Energy, Italia. Al momento tampoco se ha podido ofrecer una cartera de proyectos tecnológicos a la industria para promover aplicaciones a proyectos PEI del Conacyt.

#### d).- INTERNACIONALIZACIÓN

El subprograma se comprometió a promover visitas técnicas entre investigadores de diferentes instituciones extranjeras y la interacción con empresas transnacionales. Al momento se consiguieron las visitas técnicas ya mencionadas en la sección anterior, con actividades académicas bien definidas a: Universidad Politécnica de Valencia, España, Universidad de Texas, USA, Universidad de North Texas, USA, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Brasil con el pendiente de la visita al ITAE en Italia. En el caso de la visita programada a la Simon Fraser University en Canadá, solamente se consiguió reprogramar para 2016 pero formalizando actividades a realizarse. Sin embargo, se realizó actividades de intercambio de información, de manera electrónica con la empresa canadiense GI y una reunión presencial con su personal durante un evento académico en Los Angeles, USA.

## ENTREGABLES DEL SUBPROGRAMA DeMePol

La tabla 5 muestra los proyectos de cada institución con los productos entregables comprometidos y obtenidos y que condensa la información del informe del subprograma:

Tabla 5.- Relación de compromisos entregables y obtenidos para cada proyecto del subprograma

| <b>Propuesta</b>  | <b>Entregables comprometidos</b>  | <b>Obtenidos</b>   |
|---|---|--|
| <b>Nanocatalizadores en Celdas de Combustible Poliméricas (CINVESTAV-Zacatenco)</b>   | 2 artículos de inv.<br>2 memorias de congresos<br>2 reporte de estancias<br>Tesis 1. Estudiante de doc,<br>Tesis 2. Estudiante de doc.  | 2 artículos científicos<br>2 memorias congresos<br>Tesis 1-José Luis Reyes Rodríguez<br>Tesis 2-Oscar Xavier Guerrero Gutiérrez<br>2 reportes de estancias   |
| <b>Aplicación de técnicas electroforéticas para el desarrollo de electrodos para celdas de combustible PEM (CINVESTAV-Salttillo)</b>      | Tesis 1. Estudiante de MC<br>Tesis 2. Estudiante de MC<br>2 artículos de inv.<br>1 memorias de congresos (EQI 2015)<br>Organización del Taller SMH 2015   | Tesis 1-Nora Mayté Sánchez Padilla<br>Tesis 2-Perla Cecilia Meléndez González<br>4 artículos científicos<br>1 Memoria del simposio EQI 2015<br>No participación en organización de taller SMH 2015   |
| <b>Determinación de Durabilidad en Membranas y Ensamblajes Membrana-Electrodos para Celdas de Combustible (IIE)</b>                       | Informe Parcial de resultados<br>1 artículo de inv.<br>Tesis 1. Estudiante de lic.  | 1 Informe de resultados<br>1 artículo (preparación)<br>1 Vinculación con empresa GI (Canadá)<br>1 Vinculación con CIQA (Saltillo)<br>1 poster en congreso nacional<br>Estudiante lic. no integrado por retraso de fondos   |
| <b>Desarrollo de membranas poliméricas basadas en copolímeros estirenicos/grafeno, Nafión/grafenos para celdas de combustible. (CIQA)</b> | Reportes de estancias de investigación.<br>Tesis 1. Doctorado,<br>Tesis 2. Maestría,<br>Tesis 3. Licenciatura (UA de C)<br>Tesis 4. Licenciatura (UA de C),<br>1 artículo<br>2 presentaciones en congreso | 2 Reportes de estancias (UNESC, IIE)<br>Tesis 1-Leticia Melo López (Doct.-graduarse en primer semestre 2016)<br>Tesis 2-Juan C. Ortiz (MC-graduarse en primer semestre 2016)<br>Tesis 3-Rosendo Urbano (MC-graduarse segundo semestre 2016)<br>Tesis 3-Alejandra E. Herrera Alonso (Lic.)<br>Tesis 4-Davis Flores O. (Lic. Graduarse 2016)<br>Tesis 5-Felipe Torres (Lic. graduarse en 2016)<br>2 artículos científicos<br>2 presentaciones en congresos |