

La química verde como plataforma para el desarrollo de materiales y procesos sustentables

EDUARDO M. SÁNCHEZ CERVANTES*



La química verde es una filosofía que consiste en el esfuerzo colectivo para reducir al mínimo, o de ser posible eliminar por completo la contaminación desde su inicio: mediante el uso de procesos “limpios”, evitando al máximo el desperdicio o uso indiscriminado de materias primas no renovables, así como el empleo de materiales peligrosos o contaminantes en la elaboración de productos químicos “limpios”, que no atenten contra la salud o el ambiente. Los medios de la química verde se centran en la disminución o la eliminación del uso de productos químicos tóxicos y el reciclaje de los desechos producidos por el avance tecnológico, de una manera creativa tal que tenga un mínimo impacto en los seres humanos y el medio ambiente, sin sacrificar el avance científico y tecnológico. Los principios básicos de la química verde se muestran a continuación:

1. Es mejor prevenir los residuos que tratarlos o limpiarlos una vez formados.
2. La ruta sintética debe ser diseñada con el objeti-

vo de maximizar la incorporación de los materiales usados en el producto final.

3. La metodología sintética debe procurar generar el número mínimo de sustancias tóxicas para el ser humano y el medio ambiente.
4. Los productos químicos diseñados deben ser eficaces a la par que inocuos.
5. El uso de sustancias auxiliares (disolventes) debe ser evitado, si es posible.
6. Los requerimientos energéticos de la ruta sintética también deben ser tenidos en cuenta y minimizados. Las reacciones deben llevarse a cabo a temperatura ambiente y presión atmosférica, cuando sea posible.
7. Las materias primas deben ser renovables cuando sea técnica y económicamente posible.
8. La derivatización debe evitarse en lo posible.
9. Los reactivos catalíticos (mejor si son selectivos) serán elegidos primero que los reactivos estequiométricos.
10. Los productos químicos deben diseñarse de modo que al final de su vida útil se descompongan en compuestos inocuos.
11. La metodología analítica debe usarse para controlar los procesos, evitando la formación de sustancias peligrosas.

□ El presente artículo está basado en la investigación “La química verde como plataforma para el desarrollo de materiales y procesos sustentables”, galardonada con el Premio de Investigación UANL 2011, en la categoría de Ciencias Exactas, otorgado en sesión solemne del Consejo Universitario, en septiembre de 2011.

*Universidad Autónoma de Nuevo León, FCQ. Laboratorio de Materiales II: Almacenamiento y Conversión de Energía. edsanchez@hotmail.com

12. Las sustancias y el estado físico de éstas debe elegirse con cuidado, de modo que se eviten potenciales situaciones de riesgo, como explosiones o fuegos.

¿Cómo encajan en la química verde los líquidos iónicos? La estructura atómica de estos compuestos les confiere propiedades particulares que les permiten ajustarse a algunos de los aspectos más destacados de la química verde. Se define líquido iónico como la sustancia formada por iones (generalmente un catión orgánico y un anión inorgánico), líquida a menos de 100°C. La primera gran ventaja de los líquidos iónicos viene, por lo tanto, encerrada en su definición; su bajo punto de fusión, lo que permite trabajar con éstos bajo una nueva perspectiva, lo cual les dota de innumerables oportunidades. El objetivo principal de la presente investigación fue utilizar los postulados de la química verde para realizar una variedad de procesos con la finalidad de preparar diversos materiales de potencial aplicación en celdas solares, celdas de combustión y la disminución de gases de invernadero.

Líquidos iónicos en la síntesis de nanomateriales

En los últimos años se han realizado esfuerzos de gran magnitud para sintetizar materiales inorgánicos de forma nanoestructurada, los cuales tienen aplicaciones numerosas en la electrónica, la medicina y la biología. Los semiconductores han mostrado propiedades nuevas, lo que los convierte en candidatos prometedores para la manufactura de dispositivos electrónicos y optoelectrónicos. La estibnita (Sb_2S_3) es un material prospecto para aplicaciones en celdas solares,¹ así como en dispositivos termoelectrónicos¹ y optoelectrónicos en la región infrarroja.² La estibnita es un material anisotrópico con una estructura de capas y cristaliza en una fase ortorrómbica (grupo espacial pbnm), las capas de SbS_3 y SSb_3 for-

man pirámides interconectadas. En este trabajo reportamos la preparación de nanoestructuras de Sb_2S_3 mediante irradiación de ultrasonido de baja potencia bajo la asistencia del líquido iónico $[\text{BMIM}][\text{BF}_4]$.

El cloruro de antimonio (SbCl_3), el tetrafluoroborato de 1-n-butl-3-metilimidazolio $[\text{BMIM}][\text{BF}_4]$ y la tioacetamida se compraron en Fluka, el etanol absoluto y la acetona de CTR Scientific. Para la síntesis de trisulfuro de antimonio (Sb_2S_3) se utilizaron 0.40g de SbCl_3 y 0.45g de tioacetamida, ambos fueron disueltos en 6mL de etanol absoluto y 4mL de $[\text{BMIM}][\text{BF}_4]$ en un matraz de fondo redondo de dos bocas de 100mL, el cual fue inmerso en un baño de ultrasonido Branson 1510 (70W, 42kHz).

Durante el tiempo de reacción se alcanzó una temperatura de 60°C. Se filtraron los polvos resultantes y se lavaron con etanol absoluto, agua destilada y acetona para su posterior enfriamiento a temperatura ambiente. Después, las muestras se sometieron a un tratamiento térmico, bajo condiciones controladas de vacío, en un horno (Shel Lab, 1410), con una presión de 6.8kPa durante una hora a una temperatura de 200°C. En la tabla I se resumen las condiciones experimentales para todas las muestras preparadas en este trabajo. Se realizaron análisis de difracción de rayos X en polvos (DRX) con un difractómetro de escritorio Rigaku Miniflex ($\text{CuK}\alpha$, Ni, 1.540562nm, 30kV, 15mA, tamaño de paso 0.02° y tiempo de paso de 2s). La morfología de los productos sintetizados se analizó con un SEM Jeol JSM-6490LV. Las propiedades ópticas se analizaron con un espectrofotómetro UV-Vis Perkin Elmer Lambda 12, en el modo de reflectancia difusa.

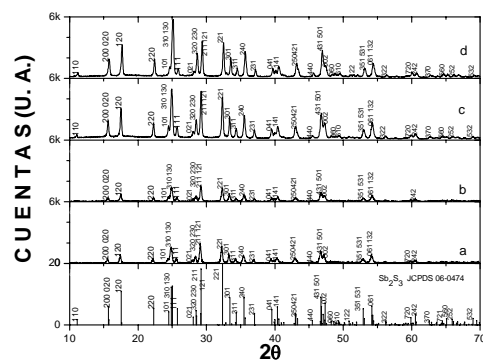
En la figura 1 se dispone el análisis de difracción de rayos X en polvos (DRX) del material sintetizado bajo diferentes condiciones experimentales. En la parte inferior se colocó el patrón JCPDS 06-0474 como referencia. La figura 1a muestra las principales señales de difracción de la estibnita, y se llega

Tabla I. Condiciones experimentales de síntesis de Sb_2S_3 .

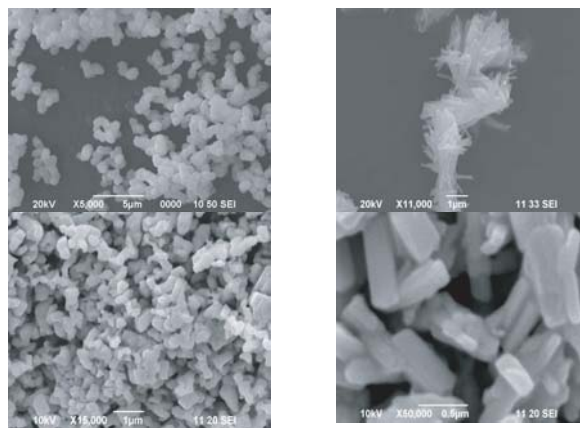
Muestra	Irradiación	Etanol (mL)	LI (mL)	Morfología	Energía de banda prohibida (eV)
a	No	10	0	Esférica, irregular	1.72
b	No	6	4	Nanobarras	1.73
c	Si	10	0	Irregular	1.74
d	Si	6	4	Nanobarras	1.72

hasta aproximadamente 2000 cuentas en la señal más alta. La figura 1b muestra un grado de cristalización similar a la 1a y casi el mismo número de cuentas máxima. En la figura 1c se muestra un material que puede considerarse como altamente cristalino, dado que el número de cuentas alcanzado llega hasta casi 6000 para los planos de difracción $\langle 130 \rangle$, $\langle 121 \rangle$ y $\langle 221 \rangle$, y todas las señales están bien definidas. En la figura 1d, todas las señales de difracción están completamente desarrolladas y se pueden indexar a una fase puramente ortorrómbica (JCPDS 06-0474), correspondiente a Sb_2S_3 . Las señales de difracción de rayos X llegaron en este caso a más de 6000 cuentas para los mismos planos de difracción que en la figura 1c. Asimismo, es evidente que la irradiación de ultrasonido asistida con LI en conjunto con un tratamiento térmico bajo condiciones controladas de vacío es una técnica viable para preparar estibnita altamente cristalina.

Se llevó a cabo un exhaustivo análisis de microscopía electrónica de barrido para elucidar la morfología del Sb_2S_3 obtenido bajo las diferentes condiciones experimentales. En la figura 2a se muestra un comportamiento de aglomeración de formas, en su mayoría de microsferas. La figura 2b muestra grandes aglomerados de nanobarras que tienen aproxi-


 Fig. 1. DRX de Sb_2S_3 obtenido en diferentes condiciones experimentales.

madamente un diámetro en el orden de 70 a 80nm y varios micrómetros de largo. En la figura 2c se forman estructuras poligonales o irregulares que tienden a agruparse en aglomerados. Finalmente, en la figura 2d se muestran paquetes de estructuras en forma de agujas o cilindros, con un diámetro aproximado de 75nm y varios micrómetros de largo. Los cambios en la morfología desde cero dimensionales hasta nanobarras se explican por la asistencia del LI. Las partículas ya formadas de Sb_2S_3 son cubiertas por el LI, debido a fenómenos electrostáticos entre los cationes del LI y los núcleos de Sb_2S_3 , este proceso resulta en un mecanismo de crecimiento de abajo hacia arriba conocido como *crecimiento espontáneo*. En la figura 3 se indica la variación de las morfologías


 Fig. 2. Imágenes SEM de Sb_2S_3 con diferentes condiciones experimentales.

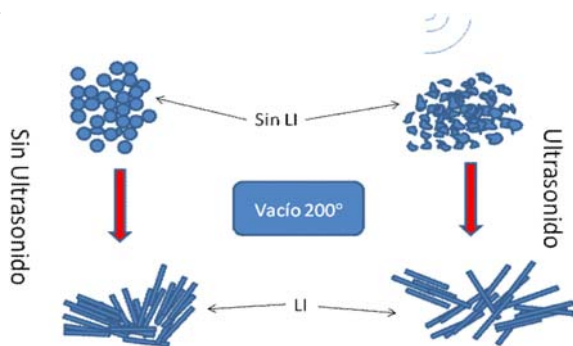


Fig. 3. Morfologías de Sb_2S_3 obtenidas con y sin líquido iónico.

observadas en MEB de las nanoestructuras sintetizadas de Sb_2S_3 sin líquido iónico y con líquido iónico.

La irradiación de ultrasonido, con el tratamiento térmico a 200°C , logra morfologías de tipo esférico o irregular en el material. La energía proporcionada por el tratamiento térmico es probablemente utilizada en parte para la formación de aglomerados de diferente tamaño. Por otro lado, observamos que mediante la adición de líquido iónico hay una tendencia a obtener morfologías tipo barra.

Para determinar la energía de banda prohibida del Sb_2S_3 , se construyó la curva T_{auc} a partir del análisis de espectroscopía UV-Vis en el modo de reflectancia difusa, utilizando la teoría Kubelka-Munk. En la figura 4a se muestra la aparición del plasmón de resonancia, en aproximadamente 1.72eV , y corresponde a la medida obtenida para Sb_2S_3 en tamaño de bulto, como se corroboró por el análisis correspondiente de DRX. La figura 4b muestra una energía de banda prohibida similar a la de la figura 4a, teniendo un valor de 1.73eV , lo cual corrobora los resultados de DRX.

La asistencia del $[\text{BMIM}][\text{BF}_4]$ en la síntesis de Sb_2S_3 logra la transformación de estructuras cero, dimensionales a nanobarras. La determinación de la energía de banda prohibida mostró valores entre 1.72 a 1.74eV , lo que les da posibilidad para ser empleados como materiales para absorción en celdas solares.

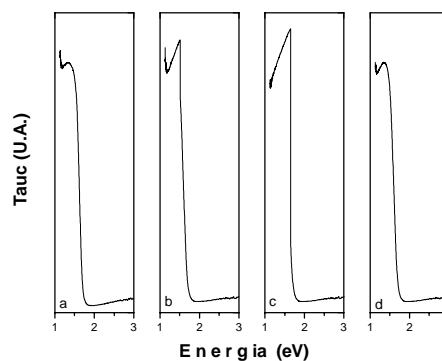


Fig.4. Energía de banda prohibida de Sb_2S_3 .

Fosfonios como líquidos iónicos novedosos

En este trabajo reportamos diversas características fisicoquímicas de una variedad de sales alifáticas del yoduro del fosfonio. Específicamente, comparamos su conductividad, viscosidad y comportamiento de la fragilidad con sistemas similares, y explicamos estas características usando consideraciones estructurales. Además, su conductividad y los datos de la viscosidad se estudian bajo regla de Walden, en la que la asociación de iones desempeña un papel principal. Asimismo, relacionamos la temperatura de transición de vítrea contra el volumen molar, y realizamos consideraciones intermoleculares.

Los productos químicos para la síntesis de las sales del fosfonio fueron el tri-*n*-octilfosfina (90%), 1-iodoetano (99%), 1-iodobutano (99%), 1-iodo-2-metilpropano (97%), 1-iodohexano (98%) y 1-iodooctano (98%) de Aldrich, y tri-*n*-hexilfosfina de TCI Tokio Kasei (90%). Todos los reactivos se utilizaron sin purificación adicional. La conductividad iónica se determinó con un potentiostato/galvanostato, equipado de un analizador de la respuesta de frecuencia (Gamry PC4/750). Una porción de 2 ml de cada muestra líquida fue vertida dentro de un frasco de 4 ml, y un electrodo dual de platino fue sumergido y utilizado para la medida de

espectroscopía de impedancia. Las medidas de viscosidad se realizaron con un viscosímetro digital (Viscolab 3000). Los puntos de fusión y transición vítrea se midieron por análisis térmico diferencial con un instrumento modificado para medidas de la baja temperaturas. Los puntos de fusión de muestras sólidas se determinaron por la calorimetría de barrido diferencial (DSC, Shimadzu DSC-50).

Las conductividades iónicas de los compuestos se representan en la figura 6, donde las líneas punteadas se basan en la ecuación de Arrhenius, en la que se observa una mayor conductividad en los fosfonios basados en el tri-n-hexilo. Este comportamiento se puede atribuir a un momento dipolar más alto, enlaces P-I más largos y anchos de energía de (Homo-Lumo) banda más bajos, tal y como sugiere Benavides.² Particularmente, el $i\text{BH}_3\text{PI}$ tiene una longitud en enlace P-I calculada de 4.38 Å (el más largo de este grupo), y de un momento dipolar calculado de 15.9 debye (otra vez, el más grande de este grupo). Estas características explican la conductividad iónica más grande encontrada en esta clase de compuestos. Por otra parte, el BO_3PI tiene una longitud en enlace P-I calculada de 4.00 Å y un momento dipolar de 14.6 debye, que se puede extrapolar de los resultados de la conductividad de $i\text{BO}_3\text{PI}$ y BH_3PI , que tienen una longitud en enlace P-I intermedia y un momento dipolar comparable, y esto se refleja con valores de conductividad intermedios.

En la figura 6 se muestra la viscosidad de los yoduros de fosfonio preparados, en la que los que están basados en el tri-n-hexilo exhiben los valores más altos. También se nota una disminución perceptible con la temperatura. En particular, notamos una viscosidad inesperada, baja para $i\text{BO}_3\text{PI}$ junto con una disminución suave de la viscosidad con la temperatura. A 70°C, todos los líquidos han alcanzado valores más bajos. Para explicar este comporta-

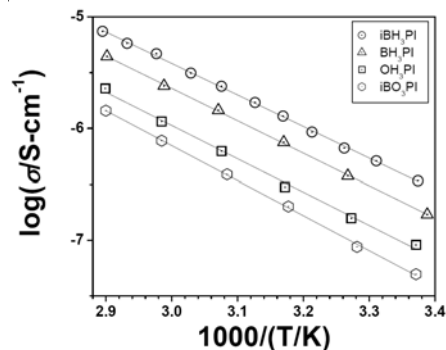


Fig. 5. Conductividad de los yoduro de fosfonio preparados.

miento, se tomarán en cuenta las interacciones estructurales del ión yoduro con las cadenas alifáticas. Según Benavides,⁴ las cadenas alifáticas hexiles tienden a formar estructuras moleculares coplanarias, y las cadenas alquidálicas más largas (octilas) tienen estructuras casi planares, favorecen interacciones intermoleculares más bajas y bajan los valores de la viscosidad. En la figura, observamos una disminución de la viscosidad cuando se utilizan los cationes del fosfonio, comparada a MOENM_2E^+ , que es significativo. Este comportamiento se explica por el hecho de que la fuerza de las interacciones del yoduro-fosfonio en las moléculas más pequeñas excede las interacciones Van der Waals de las cadenas alifáticas más largas. Sin embargo, el tetrafluoroborato debe tener interacciones más bajas del anión-cación, y las interacciones Van der Waals predominan, como en $\text{MOMNM}_2\text{E}[\text{BF}_4]$, y llevan a viscosidades más bajas que los yoduros seleccionados. Las líneas sólidas se calcularon con la ecuación de VTF.

Para aclarar la relación entre la conductividad y la viscosidad construimos un diagrama de Walden (figura 7). Según Angell,¹ todos los compuestos que estén por debajo de un orden de magnitud del comportamiento ideal del KCl diluido, se deben clasificar como “líquidos iónicos pobres”, indicando que la conductividad iónica es más baja de lo previsto,

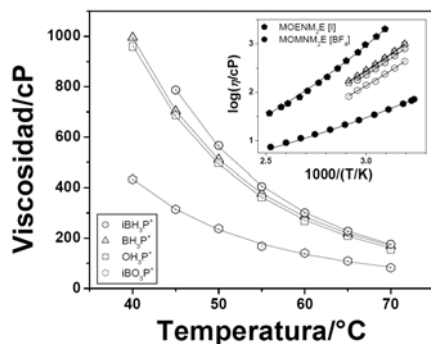


Fig. 6. Viscosidad de los yoduro de fosfonio preparados.

debido a valores substancialmente altos de la viscosidad. Sin embargo, MacFarlane propuso¹ una nueva clasificación. Las sustancias situadas debajo de la línea del KCl deben considerarse “líquidos iónicos verdaderos”, debido a la asociación parcial de iones vecinos. Estas especies asociadas no contribuyen a la conductividad total. La diacetamida de fosfonio² tiene cadenas alifáticas largas, pero está cerca de la línea ideal del KCl en el diagrama de Walden, y se puede clasificar como “líquido iónico verdadero”. Un comportamiento similar se encuentra en sales del fosfonio con cadenas alifáticas más cortas.² Por otra parte, el cloruro del fosfonio está muy por debajo de la línea ideal del KCl ideal y, según MacFarlane, este fosfonio se debe clasificar como “líquido iónico asociado”, y debe considerarse un intermedio entre un líquido iónico verdadero y una especie molecular. En anión diacetamida (dca) está más cerca al catión del fosfonio, y aumenta la atracción electrostática y el número de pares iónicos. El iBH₃PI está muy por debajo de la línea ideal del KCl e implica una cantidad grande de iones asociados que disminuyen la conductividad total. Así, iBH₃PI se debe considerar un líquido iónico asociado también. Esto se explica en términos de estructura de iBH₃PI, en que el anión grande del yoduro “empuja” hacia afuera las cadenas alifáticas, y expone el catión fosforado a interacciones más fuertes del

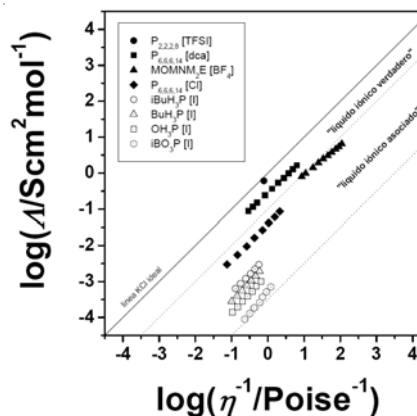


Fig. 7. Diagrama de Walden.

catión-anión, como precisó recientemente Benavides.⁴

Los yoduros de fosfonio estudiados han comprobado su uso como electrolitos en celdas solares nancocristalinas,³ y el presente trabajo ha servido para clarificar las propiedades fisicoquímicas relevantes que ayudan a esclarecer los fenómenos de transporte iónico, en función de la viscosidad y la fragilidad de los fosfonios.

Polímeros PEM con aplicación en celdas de combustible

En el presente trabajo se desarrollaron membranas poliméricas, tipo ABPBI, con potencial aplicación en celdas de combustible. Asimismo, se realizó una revisión crítica del estado del arte de las membranas poliméricas con base en el polibenzimidazolio.

El ABPBI es el polibenzimidazol de estructura más simple. Este polímero fue preparado en PPA por primera vez por Imai, a partir de ácido 3,4-diaminobenzoico (DABA), o de sus sales (DABA·HCl, DABA·H₂SO₄, DABA·H₃PO₄ y 3,4-diaminocarboxilato de potasio), en PPA a 160°C en atmósfera de nitrógeno. Anteriormente, fue obtenido por Vogel,² a partir de 3,4-diaminoben-zoato de fenilo por fusión del monómero. El ABPBI emplea-

do en este trabajo ha sido obtenido con el siguiente procedimiento general. Se disuelven 3.040 g (20 mmol) de ácido 3,4-diaminobenzoico (DABA) en 50 g de ácido polifosfórico 85% P_2O_5 (PPA), en atmósfera de nitrógeno, a 150°C con agitación magnética durante $\frac{1}{2}$ hora. Enseguida, la mezcla adquiere un característico color negro con brillos violáceos.

Para la preparación de membranas y dopaje con ácido fosfórico, se disolvieron diferentes cantidades de ABPBI en H_3PO_4 85%, agitando a temperatura ambiente. Una vez disuelto el polímero en el ácido, se precipitó el ABPBI dopado con H_3PO_4 añadiendo diferentes volúmenes de agua, y agitando durante cinco minutos, se filtró a presión reducida y se secó a 100°C durante la noche. De este modo, es posible obtener muestras de ABPBI dopado con diferentes cantidades de H_3PO_4 . Los espectros de infrarrojos por transformada de Fourier (FT-IR) se han obtenido en forma de pastilla de KBr, o directamente de las membranas cuando el grosor de éstas lo ha permitido (< 20 mm), empleando un espectrofotómetro Shimadzu FTIR-8300. Los valores de impedancia y ángulo de fase se registraron con un analizador de impedancias HP 4192 (5 Hz- 13 MHz). La conductividad se calculó a partir de la impedancia obtenida, que se asimila a resistencia, y las dimensiones de la muestra.

Hay dos regiones del espectro de IR que concentran la información acerca del nivel de dopaje de la muestra. Las principales bandas de absorción de ABPBI dopados con H_3PO_4 se muestran en la figura 5.5 y en la tabla IX. En la zona de la tensión N-H, un primer análisis de los espectros permite apreciar la evolución del nitrógeno protonado por el ácido. En las muestras más dopadas, la tensión N+-H se hace mayor, mientras que la banda de la tensión N-H disminuye, aunque sin desaparecer. Si se observan nitrógenos protonados y no protonados, parece lógico pensar en un mecanismo en el que el H+

se mueve “saltando” entre las moléculas de ácido y los anillos de imidazol, de un imidazol protonado a otro no protonado, a través de una molécula de ácido. Esto sería coherente con el mecanismo propuesto para la conducción protónica en membranas de PBI dopadas con ácido fosfórico. Chapman² asignó dos bandas debidas a la tensión O-H en ácido fosfórico. En los polibencimidazoles dopados con ácido fosfórico, la primera banda, alrededor de $2700\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$, está solapada con la tensión N⁺-H. La segunda banda está centrada en 2350 cm^{-1} en las muestras más dopadas.

Para comprobar el efecto de la proporción de ácido en las membranas de $ABPBI \cdot x H_3PO_4$, se midió la conductividad de membranas de ABPBI dopadas con 2.7 - 1.9 H_3PO_4 por unidad de repetición de ABPBI, en función de la temperatura, sin control de la humedad relativa. Para ello, se empleó la técnica de impedancia AC con cuatro contactos en el plano, con una muestra cortada en forma de tira de 0.5-0.6 de ancho y aproximadamente 4 cm de largo. Para eliminar el efecto de la humedad, se calentaron las muestras a 185°C y, una vez estabilizada, se registró la conductividad a medida que se enfrió el horno. Los resultados se muestran en la figura 9.

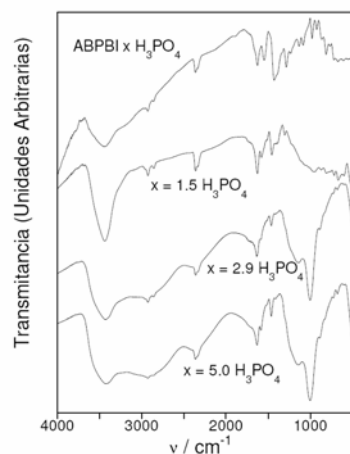


Fig. 8. Espectros de FT-IR ABPBI dopado con ácido fosfórico.

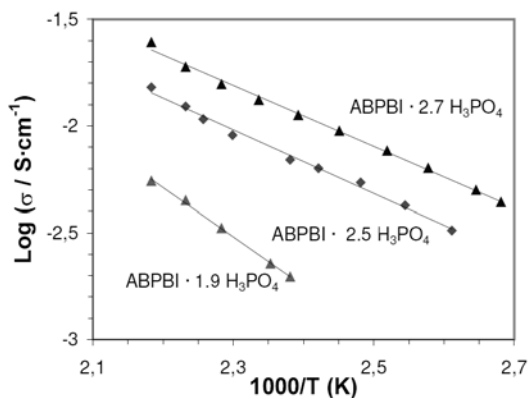


Fig. 9. Conductividad ABPBI· 2.7 H₃PO₄ (69 %) (■), ABPBI·2.5 H₃PO₄ (68%) (□) y ABPBI ·1.9 H₃PO₄ (62%) (▲) anhidros en función de la temperatura. Efecto del porcentaje de ácido en la membrana.

A la vista de los resultados, se corrobora que las membranas de ABPBI·xH₃PO₄ son adecuadas para su uso en celdas de combustible tipo PEM, por su conductividad y estabilidad térmica hasta cerca de los 200°C.

Películas de TiO₂ en la reducción de gases de invernadero

En el presente trabajo se realizó un estudio morfológico del efecto en la superficie de TiO₂ cuando se utiliza en la electroreducción del dióxido de carbono (gas invernadero). Asimismo, se estudió el efecto positivo de adicionar partículas de plata electrodepositadas en la superficie del TiO₂.

El barrido de potencial para ambos electrodos (TiO₂/FTO y Ag-TiO₂/FTO) se hizo en un intervalo de potencial de 0 a -0.9V vs. Ag|AgCl, en la disolución con CO₂. Debido a los eventos encontrados, se decidió comenzar el primer ciclo a un potencial de -0.3V vs. Ag|Cl, tomando en cuenta que alrededor de esos valores están $E_{i=0}$ y E_{CRIT} buscando así no afectar la superficie. En la figura 11 se muestran los VC del segundo ciclo de los electrodos en una disolución saturada de CO₂(g) con ambos electro-

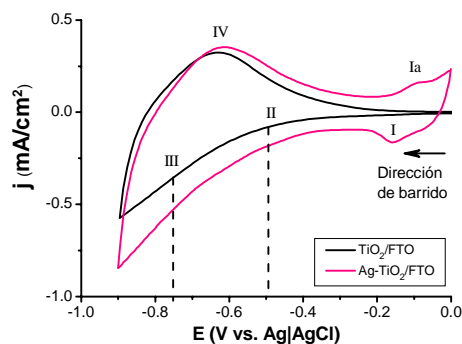


Fig.10. Voltamperogramas cíclicos comparativos de los electrodos de TiO₂/FTO y de Ag-TiO₂/FTO en disoluciones saturadas de (a) N₂(g) y (b) CO₂(g). E_{REF}: Ag|AgCl, E_{AUX}: Pt(s), v_B = 250mV/s.

dos. En el evento (I) para el electrodo modificado, el aumento de la densidad de corriente con respecto al electrodo original se podría atribuir a un par redox (I-Ia) de oxidación-reducción de la plata, como se comenta posteriormente. En el evento (II) se observa una densidad de corriente superior para el electrodo modificado para ambas disoluciones, por lo cual esta densidad de corriente se podría atribuir a la presencia de la plata, por ejemplo, como un inicio de reducción de la superficie electródica, como se marca en el evento III, a -0.72V. El pico Ia podría corresponder a la redisolución de las partículas depositadas, con la reacción $Ag^+ + e^- \leftrightarrow Ag^0$, y el I a la reacción inversa.

Resumen

La química verde provee los fundamentos básicos para evitar la contaminación innecesaria y el uso eficiente de la energía. En el presente trabajo se han utilizado líquidos iónicos (solventes de bajo impacto ecológico) para la síntesis, con base en ultrasonido de baja energía, de nanobarras de Sb₂S₃ que tienen una potencial aplicación en celdas solares. Asimismo, se ha logrado un estudio fisicoquímico com-

pleto de nuevos líquidos iónicos basados en fosfonios que se han utilizado como electrolitos en celdas solares nanocrystalinas. Por otro lado, se ha logrado la preparación de una membrana polimérica que tiene aplicaciones en celdas de combustión (dispositivo de generación de energía verde). Asimismo, se realizó un análisis crítico de membranas poliméricas basadas en el polibenzimidazol. Por último, se realizó un estudio superficial del proceso de electroreducción de un gas de invernadero (dióxido de carbono), en el que se ha demostrado el efecto positivo de adicionar nanopartículas de plata en la superficie.

Palabras clave: Química verde, Líquidos iónicos, Nanoestructuras, Estibnita, Membranas de intercambio protónico, Polibenzimidazol, Dióxido de titanio, Plata, Dióxido de carbono, Electrodepósitos.

Abstract

Green chemistry provides a foundation to avoid unnecessary contamination and the efficient use of energy. In the present work we use ionic liquids (low ecological impact solvents) for the synthesis, using ultrasonic low energy, Sb_2S_3 nanorods with potential application in solar cells. Also, a complete physicochemical study of new ionic liquids based on phosphoniums was performed on electrolytes previously used on nanocrystalline solar cells. On the other hand, we present the preparation of a polymeric membrane towards fuel cell applications (generation of green energy) and we also performed a critical review on polibenzimidazoles. Finally, a surface study of the electroreduction of a greenhouse gas (carbon dioxide) is reported where the positive effect of silver nanoparticles was demonstrated

Keywords: Green Chemistry, Ionic liquids, Nanostructures, Stibnite, Protonic exchange Membranes, Polybenzimidazole, Titanium dioxide, Silver, Carbon dioxide, Electrodeposition.

Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt #60170). Asimismo, reconoce el apoyo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por medio del Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica.

Referencias

1. Messina, S; Nair, M.T.S; Nair, PK Thin Solid Films 2009, 517, 2503.
2. Bao, H.; Cui, X.; Li, C.M.; Song, Q.; Lu, Z.; Guo, J. J. Phys. Chem. C, 2007, 111, 17131.
3. Calixto-Rodríguez, M.; Martínez, H.; Peña, Y.; Flores, O.; Esparza-Ponce, H. E.; Sánchez-Juárez, A.; Campos-Álvarez, J.; Reyes, P. Applied Surface Science, 2010, 256, 2428.
4. Benavides, M.G.; Monroe, M. Chem. Phys. Lett. 2009, 479, 238.
5. Xu, W.; Wang, L. M.; Niemi, R. A.; Angell, C. A. J. Phys. Chem. B 2003, 107, 11749.
6. Fraser, K. J.; MacFarlane, D. R. Aust. J. Chem. 2009, 62, 309.
7. Fraser, K. J.; Izgorodina, E. I.; Forsyth, M.; Scott, J. L.; MacFarlane, D. R. Chem. Commun. 2007, 3817.
8. Tsunashima, K.; Yonekawa, F.; Sugiya, M. Electrochem. Solid-State Lett. 2009, 12, A54.
9. Vogel, H.; Marvel, C.S. J. Pol. Sci., 1961, 50, 511.
10. Chapman, A.C.; Thirlwell, L. E. Spectrochim. Acta 1964, 20, 937.

Recibido: 1 de septiembre de 2011

Aceptado: 1 de octubre de 2011