

# Producción por LGAC – Congresos

Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIO  
9 al 12 de Mayo de 2017, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México

## ANÁLISIS DE NANOTUBOS DE TiO<sub>2</sub> EN UN ARREGLO TIPO MEMBRANA

Bernardo Núñez Mendoza<sup>a</sup>, Salomón Ramiro Vásquez García<sup>a</sup>, Ana Karen García Rueda<sup>a</sup>, Dr. José Luis Rico Cerda<sup>a</sup>,  
Leandro García González<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Mujica S/N  
Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, 58060, MÉXICO. salomon\_vg@yahoo.com

<sup>b</sup> Centro de Micro y Nanotecnología de la Universidad Veracruzana, Calzada Ruiz Cortines No. 455 Col. Costa Verde, Boca  
del Río, Veracruz, 94292, MÉXICO

### Resumen

Este trabajo presenta los resultados de una investigación experimental sobre la morfología de nanotubos de TiO<sub>2</sub> (NTT) en un arreglo tipo membrana obtenidos mediante anodización electroquímica, se plantearon parámetros ideales para el crecimiento de nanotubos, el tiempo necesario para construir los NTT se varió en 15,30, 45 y 60 minutos. Se analizaron los NTT por FESEM en donde los correspondientes a la anodización de 45 minutos mostraron un crecimiento y morfología altamente definida, presentando valores promedios de diámetro interno de 75 nm, espesores de 5 nm y longitudes de 900 nm.

### Introducción

El titanio (Ti) está presente alrededor de la corteza terrestre en un 0.6%, por lo que es el cuarto metal estructural más abundante después del aluminio, hierro y magnesio; a pesar de existir en abundancia este metal no se encuentra libre en la naturaleza, sino que se presenta como dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) tres formas cristalinas: rutilo, brookita y anatasa [1].

En años recientes, las nanoestructuras han atraído la atención científica y tecnológica, debido al interés que presentan por su alta superficie específica, intercambio iónico y habilidades fotocatalíticas [2].

Por ejemplo, para la fotocatalisis los derivados de TiO<sub>2</sub> han permitido generar novedosas nanoestructuras como nanoalambres, estructuras nanoporosas y nanotubos.

Las membranas de nanotubos de TiO<sub>2</sub> (NTT) han atraído el interés de los investigadores debido a sus notables propiedades como son su elevada resistencia a la corrosión, a la fatiga, alta biocompatibilidad y sus propiedades de auto-lubricación. Con estas membranas se han logrado obtener células fotovoltaicas para la catálisis heterogénea, en sensores de gas y en la conversión de CO<sub>2</sub> a pequeñas moléculas orgánicas. Particularmente, las membranas a base de NTT han sido útiles en la generación de hidrógeno a partir de la fotoelectrólisis del agua [3].

Entre los diversos métodos de síntesis de NTT, la anodización electroquímica es un excelente método para la obtención membranas debido a su simplicidad, bajo costo y la facilidad de control de la morfología de los nanotubos. Sin embargo, la naturaleza de la membrana puede variar dependiendo de las condiciones de anodización [4]. Así, en la anodización se han estudiado y controlado algunos parámetros como son el tiempo de anodizado, electrolito empleado (ácido, orgánico), composición química del electrolito, voltaje, temperatura del proceso y pH.

Como resultado de la modificación de los parámetros de anodización, se han variado las geometrías de los nanotubos. En este sentido, se ha observado que soluciones con pH neutro, la carencia de iones H<sup>+</sup> puede reducir la tasa de disolución del TiO<sub>2</sub> en la parte superior de los nanotubos permitiendo el crecimiento de nanotubos más largos y con un mayor control morfológico[5,6].

### Metodología

Para esta investigación se emplearon láminas de titanio de 0.127 mm de espesor (Sigma-Aldrich al 99.7 % de pureza), las cuales se cortaron con dimensiones de 1.5×1.5 cm y 5.0×5.0 cm para ser usadas como ánodo y cátodo respectivamente

## APLICACIÓN DE HIDROTALCITAS ZnAl MODIFICADAS CON Ce EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Mónica Barreto Gutiérrez<sup>a</sup>, Horacio González<sup>a\*</sup>, Denis A. Cabrera Munguía<sup>a</sup>, José Luis Rico<sup>a</sup>, Francisco Tsompantzi<sup>b</sup>, Aida Gutiérrez-Alejandre<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Múgica s/n Col. Felicitas del Río, Morelia, Michoacán, 58030, MÉXICO. [hgonzalez@umich.mx](mailto:hgonzalez@umich.mx)

<sup>b</sup> División de CBI, Universidad Autónoma Metropolitana, San Rafael Atlixco 186, Iztapalapa, Cd. México, 09340, MÉXICO.

<sup>c</sup> UNICAT Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México Av. Universidad 3000 circuito exterior s/n, Coyoacán, Cd. México, 04510, MÉXICO.

### Resumen

En el presente trabajo se analizó el comportamiento de catalizadores básicos heterogéneos tipo hidrotalcita modificados con Ce, en la reacción de transesterificación de aceite de soya para producir biodiesel. Se realizó la síntesis de materiales ZnAl-Ce(X), empleando distintas relaciones molares de Ce/Al(X), y la caracterización se llevó a cabo por DRX, Fisisorción de N<sub>2</sub>, UV-Vis-DRS, Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), TGA y cuantificación de basicidad por titulación con ácido benzoico. Los resultados muestran que la incorporación de Ce aumenta la concentración de sitios básicos, lo cual incrementa el rendimiento de biodiesel en la reacción de transesterificación. En el catalizador ZnAl(2)-Ce(0.03) se observó mejor dispersión del Ce, además de una mayor área específica (73.63 m<sup>2</sup>/g) y mayor diámetro de poro (18.3 nm). Al emplearse este catalizador con una relación metanol/aceite 30:1, 3% p/p de catalizador y una temperatura de reacción de 200°C durante 2 h, el rendimiento de biodiesel obtenido fue de 80%, comparado con un 68% del material ZnAl-Ce(0.0).

### Introducción

El biodiesel es una fuente de energía renovable, alternativa a combustibles como el diesel de petróleo. La ventaja del uso de este combustible se traduce en una menor emisión de CO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e hidrocarburos no quemados durante el proceso de combustión; y además con ello se pretende reducir la dependencia del petróleo fósil. Usualmente el biodiesel es obtenido a partir de la reacción de transesterificación de aceites vegetales y grasa animal empleando catalizadores básicos homogéneos, como el NaOH y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; sin embargo, debido a su naturaleza homogénea su recuperación resulta difícil, lo cual aumenta el costo de producción [1]. Por ello, en recientes investigaciones se han desarrollado catalizadores heterogéneos, ya que su empleo presenta la ventaja de su fácil remoción de la mezcla de reacción por filtración, dando lugar a productos con alta pureza. Entre los catalizadores básicos homogéneos se incluyen las zeolitas [2], óxidos de Ca y Mg, zirconatos y titanatos de Na [3] y las hidrotalcitas [4]

Los compuestos cristalinos tipo hidrotalcita son materiales porosos con estructura doble laminar y propiedades de intercambio aniónico. La fórmula general es: [M<sup>2+</sup><sub>1-x</sub>M<sup>3+</sup><sub>x</sub>(OH)<sub>2</sub>](A<sup>n-</sup>)<sub>x/n</sub>·yH<sub>2</sub>O donde M<sup>2+</sup> es un catión divalente, M<sup>3+</sup> un catión trivalente. Generalmente están compuestos de Mg<sup>2+</sup> y Al<sup>3+</sup>, sin embargo, debido a que el magnesio tiende a formar sales con el glicerol, se puede modificar dicha estructura reemplazando los átomos de Mg por heteroátomos de Zn. Las hidrotalcitas del tipo ZnAl han presentado mayor resistencia a la humedad y ácidos grasos propios de los aceites vegetales, en comparación con las hidrotalcitas de MgAl [5]. No obstante, éstas presentan una menor basicidad comparadas con el sistema MgAl, obteniéndose un menor rendimiento a biodiesel en la reacción de transesterificación [6].

# SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES M-SBA-15-SO<sub>3</sub>H (M=Al, Ti) Y SU APLICACIÓN EN LA ESTERIFICACIÓN DE ÁCIDO OLEICO

Edgar Tututi-Rios<sup>a</sup>, Horacio González<sup>a</sup>, Denis A. Cabrera-Munguía<sup>a</sup>, José Luis Rico<sup>a</sup>, Aida Gutiérrez-Alejandre<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Múgica s/n Col. Felicitas del Río, Morelia, Michoacán, 58030, MÉXICO. hogoro@umich.mx

<sup>b</sup> UNICAT Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México Av. Universidad 3000 circuito exterior s/n, Coyoacán, México D.F., 04510, MÉXICO.

## Resumen

Se sintetizaron materiales ácidos del tipo M-SBA-15-SO<sub>3</sub>H mediante el método sol-gel, empleando una relación molar Si/M=10 (M=Al ó Ti) y una relación molar Si/S=10. Dichos materiales fueron caracterizados por Difracción de Rayos X de ángulo bajo (SAXRD), fisisorción de N<sub>2</sub>, Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), análisis por espectroscopía infrarroja (FT-IR), adsorción de piridina analizado por FT-IR y su capacidad ácida (carga de H<sup>+</sup>) mediante intercambio iónico con NaCl. Las propiedades catalíticas de los materiales M-SBA-15-SO<sub>3</sub>H fueron evaluadas en la reacción de esterificación de ácido oleico con metanol obteniéndose conversiones superiores al 95% a T=140°C. El material SBA-15-SO<sub>3</sub>H se destacó por su alta conversión y su mayor estabilidad catalítica después de 3 ciclos de reacción.

## Introducción

El interés por la producción de combustibles más “amigables” con el medio ambiente ha crecido debido a la gran demanda de combustibles en el sector del transporte [1]. El biodiesel, que consiste principalmente de FAME's (Metil ésteres de ácidos grasos), es considerado un biocombustible sustentable debido a sus reducidas emisiones de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y CH<sub>4</sub>, en comparación con el diesel de petróleo [2]. Éste es comúnmente sintetizado a partir de la transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores básicos homogéneos como el NaOH. No obstante, si se desea emplear una materia prima más económica como aceite de desperdicio y/o grasa animal; estos catalizadores ya no funcionan debido a la formación de jabón, como resultado del alto contenido de ácidos grasos libres (FFA's) de la materia prima. Por lo que los aceites de desperdicio deben someterse a un pretratamiento llamado esterificación para disminuir su contenido de FFA's, y con ello obtener una mayor cantidad de metil ésteres de ácidos grasos (FAME's). Para ello es necesario el uso de catalizadores ácidos homogéneos como el ácido sulfúrico, sólo que éstos son corrosivos y difíciles de reciclar, además de que generan grandes cantidades de agua de desperdicio que contaminan considerablemente el medio ambiente [3]. Debido a esto, se han desarrollado una variedad de catalizadores ácidos sólidos como arcillas, zeolitas, óxidos metálicos sulfonados y heteropoliácidos, el problema con éstos es su pobre selectividad hacia el producto deseado [4]. Por su parte, la SBA-15 es un catalizador mesoporoso con base de sílice que presenta excelentes características como gran área superficial y diámetro de poro; aunado a que es posible modular sus propiedades ácidas al modificarse con metales de transición (Al y Ti) y con grupos orgánicos como (-C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>SO<sub>3</sub>H) [5]. Por ello, en este trabajo se estudió el efecto que tiene la incorporación de grupos -SO<sub>3</sub>H y los metales Al y Ti en las propiedades ácidas (Brønsted y Lewis), cristalinas, texturales y catalíticas de los materiales M-SBA-15-SO<sub>3</sub>H en la reacción de esterificación de ácido oleico con metanol.

## Metodología

### Síntesis de catalizadores

Los catalizadores M-SBA-15-SO<sub>3</sub>H fueron sintetizados mediante el método de sol-gel, utilizando una relación molar Si/M donde M=Al ó Ti; y Si/S igual a 10. Típicamente, se disuelve P123 con NaCl en una solución de HCl durante 3 h a una temperatura de 40°C. En la síntesis de SBA-15 se añade gota a

## EFFECTO EN LA CARGA DE DOPAJE SOBRE LA FOTOACTIVIDAD DEL TiO<sub>2</sub>

*Osmín Avilés-García<sup>1</sup>, Jaime Espino-Valencia<sup>1</sup>, Rubi Romero<sup>2</sup>, José Luis Rico-Cerda<sup>1</sup>, Manuel Arroyo-Albiter<sup>1</sup>, Reyna Natividad<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edif. VI, Ciudad Universitaria, 58060 Morelia, Michoacán, México

<sup>2</sup>Catalisis e Ingeniería de las Reacciones Químicas, Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM, Carretera Toluca-Atlixcoatlalco Km 14.5, Toluca Edo. México, 50200  
E-mail: mitojr\_2020@hotmail.com

### Resumen

Fotocatalizadores W-TiO<sub>2</sub> y Mo-TiO<sub>2</sub> fueron sintetizados y caracterizados. Su fotoactividad fue evaluada en la degradación del 4-clorofenol sin suministro de oxígeno. La cantidad de cationes dopantes fue un parámetro clave para mejorar la fotoactividad. Los resultados obtenidos muestran que con concentraciones bajas de dopantes la degradación es mejorada y esto se puede atribuir a un aumento en el tiempo de vida de las cargas fotogeneradas debido a que los cationes dopantes pueden atrapar fácilmente los electrones disminuyendo la velocidad de recombinación.

### Introducción

La degradación y mineralización de compuestos orgánicos en agua y aire por fotocatalisis con TiO<sub>2</sub> han sido abordadas por muchas investigaciones [1]. La actividad fotocatalítica del TiO<sub>2</sub> es altamente dependiente de su estructura cristalina y de su habilidad para generar pares hueco (h<sup>+</sup>)/electrón (e<sup>-</sup>) en la superficie catalítica. Además, el TiO<sub>2</sub> en su fase cristalina anatasa se activa solo con luz ultravioleta (UV). Por lo tanto, la modificación del TiO<sub>2</sub> por dopaje con metales de transición ha sido de gran interés para mejorar su actividad fotocatalítica y extender su capacidad de absorción hacia la región visible [2]. La síntesis de los catalizadores fue llevada a cabo por el método EISA [3], debido a que se han observado efectos positivos en la degradación al lograr obtener estructuras únicas con distribuciones de poro unimodal y áreas superficiales elevadas.

Los fotocatalizadores sintetizados fueron evaluados en la degradación del 4-clorofenol (4CF) como molécula modelo, la cual es representativa de los compuestos fenólicos clorados [4] altamente utilizados y considerados contaminantes prioritarios debido a su recalcitrancia y toxicidad.

Aunque existen muchas investigaciones relacionadas a la activación del TiO<sub>2</sub> con radiación visible, aún no es claro el efecto del dopaje para inhibir la recombinación de las cargas generadas durante la actividad fotocatalítica. Por esta razón, evaluamos el efecto del TiO<sub>2</sub> dopado con cationes tungsteno o molibdeno en la degradación/mineralización del 4CF.

### Metodología

Todos los químicos utilizados en la síntesis de los materiales fueron de grado analítico. La síntesis de TiO<sub>2</sub> puro se realizó de la siguiente manera: se preparó una solución alcohólica del precursor de titanio, esta fue agregada al surfactante P123 y posteriormente se incorporó gota a gota al ácido, la mezcla resultante de composición molar 1 Ti(OBu)<sub>4</sub> : 18.71 etanol : 0.018 P123 : 3.55 HNO<sub>3</sub> fue agitada durante tres horas. Pasado dicho tiempo se suspendió la agitación y el sistema formado fue colocado en la etapa de secado en un evaporador rotativo hasta la formación del sólido. Posteriormente, el sólido fue calcinado a 400°C por 4 horas. Los catalizadores dopados fueron sintetizados incorporando los precursores de W o Mo con 1, 2 y 3% peso de dopaje en la titania teórica. Degussa P25 (titania comercial) fue empleado por razones de comparación. Las muestras sintetizadas fueron caracterizadas por las siguientes técnicas para determinar sus propiedades físicoquímicas: BET y BJH, XRD, TEM y

## DISEÑO DE CATALIZADORES $Ru_xMo_yNi$ SOPORTADOS EN SÍLICE MESOPOROSA SBA 15 Y SU APLICACIÓN EN LA HIDRODESULFURACIÓN DEL DIBENZOTIOFENO

*N.L. Torres-García<sup>a</sup>, R. Huirache-Acuña<sup>a</sup>, T.A. Zepeda-Partida<sup>b</sup>, B. Pawelec<sup>c</sup>, J.M. Rivera-Garnica<sup>d</sup>, P.J. Vázquez-Salas<sup>d</sup>*

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Gral. Francisco J. Múgica s/n Felicitas del Río, Morelia, Michoacán, 58060, México [ndialibia.tp@gmail.com](mailto:ndialibia.tp@gmail.com)

<sup>b</sup> Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Carretera Tijuana-Ensenada km 107 Pedregal Playitas, Ensenada, Baja California, 22860, México [trino@cnavn.unam.mx](mailto:trino@cnavn.unam.mx)

<sup>c</sup> Instituto de Catalisis y Petroquímica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Marie Curie 2 Cantoblanco, Madrid, 28049, España [hgarcia@icn.csic.es](mailto:hgarcia@icn.csic.es)

### Resumen

En el presente trabajo, se estudiaron catalizadores trimetálicos basados en sulfuros de metales de transición de Ru, Mo y Ni soportados en sílice mesoporosa SBA 15, variando la relación atómica de Ru/Mo de 0.1, 0.2, 0.4 y 0.6 y composición de 14%w de Mo y 10%w de Ni. Se utilizó un agente quelante (ácido cítrico) para mejorar la dispersión de las fases activas. Los catalizadores fueron analizados en la reacción de hidrodeshulfuración (HDS) del dibenzotiofeno (DBT) para evaluar la eficiencia en la remoción de azufre. Los catalizadores trimetálicos RuMoNi con relaciones atómicas bajas mostraron una actividad catalítica superior, en comparación con un catalizador comercial NiMo. Mediante las técnicas de caracterización se pudo observar que la dispersión de las fases fue la adecuada, lo que permite la generación de sitios activos y que el agente quelante no interfiere en la estructura. La incorporación de Ru en pequeñas cantidades es suficiente para tener un buen desempeño en la reacción de HDS de DBT, lo anterior es importante en la relación costo-beneficio de los catalizadores propuestos.

### Introducción

Dentro de las emisiones de  $SO_2$  a la atmósfera se pueden encontrar moléculas azufradas que son de las más difíciles de convertir como los dibenzotiofenos (DBT,  $C_{12}H_8S$ ), las cuales han recibido un interés considerable en los estudios de hidrodeshulfuración debido a que no son particularmente reactivas bajo las condiciones típicas de la reacción. Debido al incremento en la combustión de productos petrolíferos y, por ende, a un incremento en la producción de emisiones de moléculas azufradas, las refinerías se han visto en la necesidad de buscar nuevas tecnologías de procesamiento y mejores catalizadores activos para la hidrodeshulfuración, sin disminuir la calidad del combustible.

Chianelli y col. [1] estudiaron la actividad de los sulfuros de metales de transición no soportados como una función de la posición del metal en la tabla periódica. Emplearon como molécula modelo el dibenzotiofeno (DBT) a una temperatura de 400°C a altas presiones, obteniendo una curva de variación en HDS de DBT para diferentes sulfuros de metales de transición. De acuerdo a la figura 1, se puede apreciar que el sulfuro de rutenio ( $RuS_2$ ) es el que presenta el mayor número de moléculas de DBT convertidas por unidad de tiempo.

De los Reyes y col. [2] realizaron un estudio de un catalizador empleando  $RuS_2$  soportado en alúmina en donde determinaron que el Ru presenta alta actividad catalítica. Pawelec y col. [3] analizaron el primer estudio de los catalizadores RuNiMo los cuales fueron más activos que un catalizador NiMo comercial, sin embargo, no presentan una buena dispersión de las fases activas, por lo que consideran que se obtendrían mejores resultados de actividad sin el paso de calcinación.

Klimov y col. [4], demostraron que el agente quelante no presenta ningún cambio estructural en el catalizador, permite una mejor dispersión de las fases activas y, después de la sulfuración, demostró una actividad muy alta en la HDS.

# HIDRODESULFURACIÓN DE DIBENZOTIOFENO UTILIZANDO CATALIZADORES NiMoWS SOPORTADOS EN ÓXIDOS MIXTOS DE Al-Mg Y Ti-Mg

*Pablo Jahir Peña-Obeso<sup>a,b</sup>, Manuel Arroyo-Albiter<sup>b</sup>, Rafael Huirache-Acuña<sup>b</sup>, Jaime Espino-Valencia<sup>b</sup>, Maritza Elizabeth Cervantes-Gaxiola<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Calzada de las Américas Norte 2771, Culiacán, Sinaloa, CP 80030, México.

<sup>b</sup> División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Gral. Francisco J. Mugica S/N, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, CP 58030, México.

Email: mecg@uas.edu.mx

## Resumen

En este proyecto se sintetizaron catalizadores NiMoWS soportados en óxidos mixtos de Al-Mg y Ti-Mg con diferente porcentaje en peso de MgO (5, 10, 15 y 20%) con el objetivo de estudiar el efecto de la adición de MgO en las propiedades de los catalizadores, así como en la actividad catalítica durante la Hidrodesulfuración (HDS) de Dibenzotiofeno (DBT). Los soportes de óxidos mixtos fueron sintetizados por el método sol-gel. Posteriormente, los catalizadores fueron sintetizados por el método de co-impregnación utilizando sales de Ni, Mo y W con una relación atómica de  $Ni/[Ni+(Mo+W)]=0.5$ . Los materiales fueron caracterizados por las técnicas de difracción de rayos-X (DRX), espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (IR-TF), fisisorción de  $N_2$  y espectroscopía UV-vis. Finalmente, la actividad catalítica fue evaluada en la reacción de HDS-DBT. Los catalizadores NiMoWS/Ti-Mg mostraron un mejor rendimiento en la reacción de HDS-DBT en comparación con los catalizadores NiMoWS/Al-Mg, ya que estos materiales presentaron una menor cantidad de agua fisisorbida, tamaño de poro más grande y la presencia de especies  $Ni^{+2}$  y molibdeno en coordinación octaédrica. Además, se pudo apreciar un efecto significativo en la adición de MgO a los óxidos mixtos. La adición de 5-15% en peso de MgO en los catalizadores NiMoWS/Al-Mg y la adición de 5-10% en catalizadores NiMoW/Ti-Mg mostraron un incremento en la actividad catalítica. Por el contrario, al adicionar 20% en peso de MgO, se aprecia una disminución en la actividad para los catalizadores soportados en óxidos mixtos de Al-Mg y Ti-Mg.

## Introducción

Generalmente los catalizadores utilizados en los procesos de hidrotreamiento (HDT) del petróleo son los sulfuros de Mo o W promovidos por Co o Ni y soportados en alúmina. Sin embargo, para cumplir con los límites de concentración de azufre en los combustibles establecidos en las normas se han desarrollado nuevos materiales catalíticos mediante cambios principalmente en la fase activa, modificación de los soportes y cambios de formulación con el objetivo de incrementar la actividad en la HDS de compuestos refractarios de azufre. A raíz de esto, diversos grupos de investigación han venido desarrollando modificaciones en los soportes utilizados entre los que destacan los óxidos de Al-Ti [1]. Posteriormente, dos estudios previos reportaron que el óxido mixto de Al-Ti-Mg puede ser un soporte adecuado para catalizadores a base de sulfuro de NiMoW con mejores propiedades que el soporte de óxido mixto de Al-Ti [2][3]. Sin embargo, hasta la fecha no existe reporte alguno en el cual se considere a los óxidos mixtos de Al-Mg y Ti-Mg como soportes de catalizadores NiMoWS. Por lo antes mencionado, en este trabajo se propone la síntesis, caracterización y evaluación catalítica en la HDS-DBT de catalizadores NiMoWS soportados en óxidos mixtos de Al-Mg(x) y Ti-Mg(x) donde x=5, 10, 15 y 20% en peso de MgO con el objetivo de analizar el efecto del % en peso de MgO sobre las propiedades estructurales, texturales y superficiales, así como su actividad catalítica en la reacción de HDS-DBT.

## Metodología

### *Síntesis del soporte y catalizadores*

Los soportes de óxidos mixtos de Al-Mg y Ti-Mg fueron sintetizados por el método sol-gel utilizando 5, 10, 15 y 20 % en peso de MgO. En un vaso de precipitado se agregaron 150 ml de isopropanol y este fue calentado a 60 °C y agitación mecánica constante. Una vez alcanzada esta temperatura, las cantidades necesarias de los precursores trisec-butóxido de aluminio ( $Al(OC_4H_9)_3$ )

## SÍNTESIS Y MECANISMO DE NUCLEACIÓN DE NANOBARRAS DE CARBONO EN UN REACTOR CVD UTILIZANDO Ni/SBA-15 COMO CATALIZADOR.

*José Manuel Rivera Garnica<sup>a</sup>, Francisco Paraguay Delgado<sup>b</sup>, Eric Mauricio Rivera Muñoz<sup>c</sup>, Nidia Libia Torres García<sup>a</sup>,  
Pedro Jovanvi Vázquez Salas<sup>d</sup>, Ma. Guadalupe Rojas Torres<sup>d</sup>, Javier Lara Romero<sup>d</sup>, Rafael Huirache Acuña<sup>d</sup>.*

<sup>a</sup>División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Gral. Francisco J. Mugica S/N, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, 58030, MÉXICO,  
manu.rivera.mr@gmail.com

<sup>b</sup>Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Miguel de Cervantes 120, 31109, Chihuahua, Chihuahua, MÉXICO.

<sup>c</sup>Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla 3001,  
Juriquilla, 76230, Querétaro, MÉXICO.

<sup>d</sup>Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro, Carretera Puruándiro-Galeana Km. 4.3, Puruándiro, Michoacán, , 58532,  
MÉXICO

### **Resumen.**

El carbono es un elemento único, puede formar enlaces bidimensionales extremadamente fuertes entre sus átomos. Existe distintas morfologías y formas alotrópicas: grafeno, nanotubos, nanofibras, nanobarras, etc. Las excepcionales propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, químicas y ópticas de estas nanoestructuras les capacitan para ser utilizadas en multitud de aplicaciones en materiales, medicina, catálisis, adsorción, etc.

El método de Depósito Químico de Vapor (CVD) ha demostrado ser más controlable y eficiente que los métodos de descarga de arco o evaporación láser para la síntesis de nanoestructuras de carbono. En el presente proyecto se presenta la síntesis vía sol-gel de un catalizador de níquel soportado en sílice mesoporosa SBA-15, así como su aplicación en el crecimiento de nanobarras de carbono en un reactor CVD utilizando metanol como fuente de carbono. También se comprobó el tipo de mecanismo que sigue la nucleación y crecimiento de las nanobarras de carbono sintetizadas.

Se obtuvo un catalizador muy estable térmicamente, y de muy alta área superficial (469.2 m<sup>2</sup>/g). Se reportan resultados de la caracterización del catalizador y de las nanoestructuras de carbono por medio de: Fisisorción de N<sub>2</sub>, Difracción de Rayos X, Espectroscopía Raman, y Microscopía Electrónica de Transmisión.

### **Introducción.**

En 1991, el físico japonés Sumio Iijima sintetizó por primera vez, estructuras tubulares formadas por redes de átomos de carbono [1]. Estas estructuras, llamadas nanotubos de carbono son alótropos del carbono formados por láminas de grafeno enrolladas sobre su eje. Los nanotubos de carbono de pared única o simple (SWNT, Single Walled Carbon Nanotubes), constan de una sola lámina de grafeno y los nanotubos de carbono de pared múltiple (MWNT, Multi Walled Carbon Nanotubes), están formados por varias láminas concéntricas. Son compuestos con propiedades eléctricas, elásticas y mecánicas únicas; y con un casi infinito número de aplicaciones (ver Fig. 1). Los SWNT son un material único, presentan propiedades que no se presentan en los MWNT que los hacen ideales en aplicaciones en la rama de la electrónica principalmente.

# SÍNTESIS DE UN MATERIAL ADSORBENTE DE GASES ÁCIDOS CON UNA MATRIZ CARBONOSA Y ÓXIDOS DE CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO INCORPORADOS

Ma. del Carmen Chávez Parga<sup>a</sup>, Horacio González Rodríguez<sup>b</sup>, José Luis Altamirano Corona<sup>c</sup>, Ma. Aida Béjar Ubaldó<sup>d</sup>, Jaime Espino Valenciel<sup>e</sup>,

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Francisco J. Mugica S/N, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, 58030, MÉXICO.

carmen\_pchavez@yahoo.com

## Resumen

En el presente trabajo se estudia la síntesis de un material formado por carbón y óxidos de Ca, Mg y K, con el fin de obtener un sólido poroso con una considerable área superficial y gran concentración de grupos funcionales del tipo básico, que garanticen una buena interacción con gases ácidos como el CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, así como otros ácidos orgánicos. Los precursores utilizados para las síntesis de los materiales son polvo de endocarpio de coco y acetatos de calcio, magnesio y potasio. Los materiales fueron sintetizados mediante un tratamiento térmico con una fase previa de deslignificación del endocarpio de coco. Las caracterizaciones que se realizaron son: determinación del tamaño de partícula y área superficial específica, análisis con MEB, DRX, así como espectroscopía IR.

## Introducción

La remoción de ácidos a través de métodos como la adsorción en sólidos, es uno de los procesos que más facilitan la retención de vapores o gases de ese tipo, después de los medios mecánicos o químicos. Algunos autores mencionan la importancia de adsorción de gases en sólidos y dan a conocer las grandes ventajas que aún existen en este campo para la investigación, [1], [2], [3], pues aún es posible mejorarlos, tomando en cuenta los parámetros y equipos de operación así como de los adsorbentes utilizados.

Los procesos de adsorción de gases son tecnologías consideradas energéticamente eficientes y de bajos costos de operación [5], debido a que se pueden llevar a cabo en un rango amplio de temperaturas y los materiales pueden regenerarse. El adsorbente sólido debe ser un material estable y con una alta selectividad hacia los gases a remover.

El carbón activado es un material estable pero con una baja selectividad hacia los gases ácidos dada su misma naturaleza ácida, sin embargo, la incorporación de sustancias básicas aumenta su capacidad de adsorción de gases como el H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, ácidos orgánicos, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, entre otros. Con fines de adsorción, el carbón activado ha tenido una gran cantidad de usos, desde tratamiento de aguas, hasta purificación de gases.

En el tratamiento de gases, el carbón activado se utiliza comúnmente para adsorción de gases básicos debido a la presencia de grupos ácidos sobre su superficie, pero es posible, modificarlo a través del proceso de activación al cual se le someta [6]. Sin embargo, la incorporación de óxidos de calcio, magnesio y potasio al carbón activado, puede tener el potencial de incrementar la capacidad de adsorción de gases ácidos, incluso algunos con baja reactividad, como el CO<sub>2</sub>.

Para esta investigación, se realiza un proceso de activación e incorporación de óxidos en la misma etapa, considerando el proceso como *in-situ*. Lo cual puede llegar a proporcionar un excelente adsorbente de ácidos gracias a las propiedades del carbón mismo y los óxidos como agentes anfóteros y activadores del carbón.

## Metodología

Materiales y reactivos:

- \* Endocarpio de coco de 42 μm de tamaño de partícula.
- \* Acetato de Calcio
- \* Acetato de Magnesio.
- \* Acetato de Potasio.
- \* Agua destilada.

# HIDRODESOXIGENACIÓN DEL FENOL CON CATALIZADORES TRIMETÁLICOS

Santiago José Guevara Martínez <sup>a</sup>, Jaime Espino Valencia <sup>b</sup>, José Luis Rico Cerda <sup>b</sup>, Miguel Avalos Borja <sup>c</sup>, Manuel Arroyo Albiter <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones Químico Biológicas (IQB), UMSNH, Santiago Tapia # 403 Col. Centro, Morelia, Michoacán, C.P. 58030, México. santiago\_guevtr@hotmail.com

<sup>b</sup> Posgrado de Ingeniería Química, UMSNH, Santiago Tapia # 403 Col. Centro, Morelia, Michoacán, C.P. 58030, México.

<sup>c</sup> Laboratorio Nacional de Investigación en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN), Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. (IPICYT), Camino a la presa San José 2055. Col. Lomas 4 sección CP. 78216. San Luis Potosí, S.L.P., México.

## Resumen

La HDO del fenol, en presencia del catalizador trimetálico NiMoW/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, procede por dos vías: La hidrogenación del anillo aromático, seguido de la escisión del enlace Csp<sup>3</sup>-O (vía HYD, hidrogenación) y la escisión directa del enlace Csp<sup>2</sup>-O (vía DDO), donde se obtiene el benceno como producto mayoritario. Ambas rutas se llevan a cabo simultáneamente presentando una selectividad HYD/DDO = 1.4, obteniendo como productos finales: ciclohexano, ciclohexeno, metilciclopentano, ciclohexanona y ciclohexanol, en el seno de reacción. El catalizador presenta una actividad catalítica del 92 % de conversión, lo cual corrobora los resultados obtenidos en la caracterización del material por las técnicas de BET, DRX, Raman, IR, SEM y TEM, los cuales nos permiten racionalizar las tendencias observadas experimentalmente con la actividad catalítica. Se obtuvieron materiales mesoporosos característica importante para evitar problemas difusionales durante la reacción de HDO del fenol. Los sulfuros metálicos se encuentran dispersos uniformemente en el catalizador, en base a la estructura pobremente cristalina mostrada en los patrones de difracción de XRD y la baja intensidad en el espectro Raman. Los catalizadores mostraron propiedades texturales deseables (área superficial, distribución y tamaño de poro) para la reacción estudiada, reflejo de ello es la actividad catalítica que presenta el catalizador.

## Introducción

El hidrotratamiento, es fundamental en la obtención de combustibles limpios, eliminando diversos heteroátomos, ejemplo de ello es la hidrodeseoxigenación (HDO); debido al agotamiento progresivo de los combustibles fósiles, la biomasa ha recibido una mayor atención en las últimas décadas, siendo una fuente renovable y sostenible para la obtención de combustibles que podrían ir sustituyendo a los derivados del petróleo. Los aceites biológicos se pueden obtener ya sea por pirólisis rápida o por otros procedimientos de licuefacción [1]. No obstante, debido a su alto contenido de compuestos oxigenados, el poder calorífico de aceites provenientes de la biomasa son inferiores comparados con los obtenidos del petróleo [2].

Los catalizadores utilizados en los procesos de HDT son catalizadores soportados de sulfuros de Mo o W promovidos por Co o Ni. Para la HDO, la concentración de oxígeno en los compuestos derivados de la lignina es muy alta, reduciendo su poder calorífico y obteniendo biocombustibles de baja calidad. Soled y col. [3], sintetizaron un catalizador másico NiMoW, el cual es más activo que los catalizadores industriales, pero con un elevado costo. Para ello se han utilizado diversos soportes como Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que facilita el proceso de reducción y provee una mayor área de sitios activos en la superficie del catalizador aunado a una actividad catalítica favorable en los procesos de HDT, como es la HDO de moléculas oxigenadas [2, 4]. La HDO se lleva a cabo a temperaturas moderadas, altas presiones de hidrógeno y en presencia de un catalizador soportado [5]. El fenol y los derivados del furano representan la mayor resistencia a la conversión profunda de HDO [6], siendo por tal motivo moléculas modelo para la evaluación de nuevos catalizadores y poder obtener una mejor comprensión del mecanismo de la HDO (Esquema 1). Estructuralmente los sulfuros de MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub> pertenecen a un grupo de metales que

# ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MORFOLÓGICAS Y TEXTURALES DE XEROGELES DE CARBÓN COMO SOPORTE CATALÍTICO

*Wilmer Licona<sup>a</sup>, José Luis Rico<sup>b</sup>, Salomon Ramiro Vasquez Garcia, Aida Liliana Barbosa<sup>b</sup>*

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Múgica s/n Col. Felicitas del Río, Morelia, Michoacán, 58030, MÉXICO.

<sup>b</sup> Departamento de Química, Universidad de Cartagena, Zaragoza Cra. 50 #29-11, Cartagena, Bolívar, 130015, COLOMBIA.

## Resumen.

Este trabajo va centrado al estudio de las propiedades texturales de xerogeles de carbón con la finalidad de ser usado como soporte catalítico en la reacción de hidrodesulfuración de dibenzotiofeno. Los xerogeles de carbón fueron sintetizados por la policondensación Sol-gel de resorcinol y formaldehído, en donde se varió el contenido de formaldehído con el fin de obtener altos volúmenes de absorción, área superficial, y mayor tamaño de poro que el dibenzotiofeno, que es aproximadamente 0,9 nanómetros [1], además estos materiales serán caracterizados por análisis BET.

## Introducción.

Los xerogeles de carbono son materiales mesoporosos con una estructura reticular formada por partículas interconectadas compuestas principalmente de carbono, de forma esferoidal y tamaño nanométrico, que ofrecen propiedades interesantes para la catálisis. Estos son producidos por la reacción de policondensación entre un benceno hidroxifilado (resorcinol, fenol, etc.) y un aldehído (formaldehído, furfural, etc.) en un disolvente (agua, metanol, acetona, etc.). [2]

Dependiendo del control de distintos parámetros de síntesis, los xerogeles de carbón logran cambios en sus propiedades que determinan su aplicación final, logrando así la posibilidad de diseñar el tamaño de los meso/macroporos independientemente de la microporosidad y superficie específica. Lo anterior, le brinda a los xerogeles de carbón un alto valor agregado debido a que sus propiedades texturales y químicas se pueden diseñar a la medida de cada aplicación, y se pueden obtener de la forma deseada (polvo, películas, cilindros, esferas, discos, monolitos, etc.) [3]. Además, presentan una alta porosidad, superficie específica y volumen, una estructura porosa controlada con una estrecha distribución de tamaño de poro, baja resistividad y alta conductividad eléctrica, buenas propiedades térmicas y mecánicas.

Los xerogeles de carbón se consideran prometedores para varias aplicaciones potenciales, dependiendo de su método de síntesis, por ejemplo, como material de electrodo para condensadores de doble capa o supercondensadores [3], materiales adsorbentes [5], deionización capacitiva en aguas salinas [6], soporte de catalizadores [7], pilas de combustible [7] y para el almacenamiento de hidrógeno [8].

## Metodología.

Los xerogeles orgánicos son materiales porosos, obtenidos a partir de la policondensación de resorcinol (R) con formaldehído (F) en un disolvente (W). La variable analizada fue la relación de formaldehído (mol R/mol F) de 0.4:0.5:0.6, el pH se ajustó a un valor de 6 empleando NaOH y una relación de disolvente de 5.7 (mol de disolvente/mol de F+R). los rotulos que se van a tener en cuenta para cada muestra van de acuerdo a lo siguiente: CX, representa el nombre de xerogel de carbón y va seguido de (-0.4:0.5:0.6) de acuerdo a la relación de formaldehído usada.

## EFFECTO EN LA CARGA DE DOPAJE SOBRE LA FOTOACTIVIDAD DEL TiO<sub>2</sub>

*Osmin Avilés-García<sup>1,2</sup>, Jaime Espino-Valencia<sup>1</sup>, Rubi Romero<sup>2</sup>, José Luis Rico-Cerda<sup>1</sup>, Manuel Arroyo-Albiter<sup>1</sup>, Reyna Natividad<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edif. V1, Ciudad Universitaria, 58060 Morelia, Michoacán, México

<sup>2</sup>Catalisis e Ingeniería de las Reacciones Químicas, Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM, Carretera Toluca-Atlixcoatlco Km 14.5, Toluca Edo. México, 50200  
E-mail: mitojr\_2020@hotmail.com

### Resumen

Fotocatalizadores W-TiO<sub>2</sub> y Mo-TiO<sub>2</sub> fueron sintetizados y caracterizados. Su fotoactividad fue evaluada en la degradación del 4-clorofenol sin suministro de oxígeno. La cantidad de cationes dopantes fue un parámetro clave para mejorar la fotoactividad. Los resultados obtenidos muestran que con concentraciones bajas de dopantes la degradación es mejorada y esto se puede atribuir a un aumento en el tiempo de vida de las cargas fotogeneradas debido a que los cationes dopantes pueden atrapar fácilmente los electrones disminuyendo la velocidad de recombinación.

### Introducción

La degradación y mineralización de compuestos orgánicos en agua y aire por fotocatalisis con TiO<sub>2</sub> han sido abordadas por muchas investigaciones [1]. La actividad fotocatalítica del TiO<sub>2</sub> es altamente dependiente de su estructura cristalina y de su habilidad para generar pares hueco (h<sup>+</sup>)/electrón (e<sup>-</sup>) en la superficie catalítica. Además, el TiO<sub>2</sub> en su fase cristalina anatasa se activa solo con luz ultravioleta (UV). Por lo tanto, la modificación del TiO<sub>2</sub> por dopaje con metales de transición ha sido de gran interés para mejorar su actividad fotocatalítica y extender su capacidad de absorción hacia la región visible [2].

La síntesis de los catalizadores fue llevada a cabo por el método EISA [3], debido a que se han observado efectos positivos en la degradación al lograr obtener estructuras únicas con distribuciones de poro unimodal y áreas superficiales elevadas.

Los fotocatalizadores sintetizados fueron evaluados en la degradación del 4-clorofenol (4CF) como molécula modelo, la cual es representativa de los compuestos fenólicos clorados [4] altamente utilizados y considerados contaminantes prioritarios debido a su recalcitrancia y toxicidad.

Aunque existen muchas investigaciones relacionadas a la activación del TiO<sub>2</sub> con radiación visible, aún no es claro el efecto del dopaje para inhibir la recombinación de las cargas generadas durante la actividad fotocatalítica. Por esta razón, evaluamos el efecto del TiO<sub>2</sub> dopado con cationes tungsteno o molibdeno en la degradación/mineralización del 4CF.

### Metodología

Todos los químicos utilizados en la síntesis de los materiales fueron de grado analítico. La síntesis de TiO<sub>2</sub> puro se realizó de la siguiente manera: se preparó una solución alcohólica del precursor de titanio, esta fue agregada al surfactante P123 y posteriormente se incorporó gota a gota al ácido, la mezcla resultante de composición molar 1 Ti(OBu)<sub>4</sub> : 18.71 etanol : 0.018 P123 : 3.55 HNO<sub>3</sub> fue agitada durante tres horas. Pasado dicho tiempo se suspendió la agitación y el sistema formado fue colocado en la etapa de secado en un evaporador rotativo hasta la formación del sólido. Posteriormente, el sólido fue calcinado a 400°C por 4 horas. Los catalizadores dopados fueron sintetizados incorporando los precursores de W o Mo con 1, 2 y 3% peso de dopaje en la titania teórica. Degussa P25 (titania comercial) fue empleado por razones de comparación. Las muestras sintetizadas fueron caracterizadas por las siguientes técnicas para determinar sus propiedades fisicoquímicas: BET y BJH, XRD, TEM y