

# Grupo de investigación en Química de Materiales, Departamento de Ciencias Básicas, División de CBI, Universidad Autónoma Metropolitana

Ana Marisela Maubert Franco,\* Elizabeth Rojas García,  
Ricardo López Medina

**RESUMEN:** Se hace una breve presentación de la fundación de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) en 1974, su organización académica departamental, la organización de la investigación por áreas y la creación de la figura de profesor-investigador. Además, se describen las actividades de investigación, docencia y difusión de la cultura del grupo de investigación adscrito al Área de Química de Materiales del Departamento de Ciencias Básicas, División de CBI de la UAM-A, el cual realiza sus actividades de investigación en catálisis desde hace varios años y en la nanociencia y la nanotecnología en el último lustro. Asimismo, se mencionan los proyectos que se llevan a cabo en el área, la infraestructura y sus laboratorios, las colaboraciones y el desempeño académico de los investigadores en el ámbito de la docencia y la formación de recursos humanos en las licenciaturas de ingeniería química e ingeniería ambiental; así como en el Posgrado de Ciencias e Ingeniería de Materiales, maestría y doctorado (perteneciente al Programa Nacional de Posgrados de Calidad del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología PNPC-CONACYT). Se mencionan, además, los logros alcanzados y perspectivas a futuro.

**PALABRAS CLAVE:** UAM, Unidad Azcapotzalco, catálisis, fotocatalisis, zeolitas, materiales mesoporosos, MOFs, nanomateriales, nanotubos de carbono, grafeno.

**ABSTRACT:** This article makes a brief presentation of the founding of the Metropolitan Autonomous University (UAM), its departmental academic organization, the organization of research by areas and the creation of the professor-researcher figure. In addition, the activities of research, teaching and the culture diffusion of the research group attached to the Materials Chemistry Area of the Department of Basic Sciences, CBI Division of UAM-A, are described. This group has carried out its research activities in catalysis for several years and in nanoscience and technology in the last five years. Also mentioned are the projects that are carried out in the area, the infrastructure and its laboratories, the collaborations and the academic performance of the researchers in the field of teaching and the human resources training in the bachelors of chemical and environmental engineering; as well as in the Postgraduate of Sciences and Engineering of Materials, Masters and Doctors degree (belonging to the National Postgraduate Program of Quality of the National Council of Science and Technology. Spanish acronym: PNPC-CONACYT). Achievements and future prospects are also mentioned.

**KEYWORDS:** UAM, Azcapotzalco Unit, materials, catalysis, photocatalysis, zeolites, mesoporous materials, MOFs, nanomaterials, carbon nanotubes, graphene.

---

Recibido: 23 de enero de 2017. Aceptado: 7 de marzo de 2017.

\* Área de Química de Materiales, Departamento de Ciencias Básicas, CBI, UAM-A. Av. San Pablo 180, Col. Reynosa-Tamaulipas, C.P. 022000, Delegación Azcapotzalco, Cd. Mx., México. Correspondencia: (amf@correo.azc.uam.mx).

## Introducción

La Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) fue creada por decreto presidencial el 1 de enero de 1974, en respuesta a la solicitud de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) que demandaba la necesidad de establecer una nueva universidad en el área metropolitana de la Ciudad de México, en razón del incremento de la demanda estudiantil y la creciente insuficiencia de las instituciones universitarias existentes para admitir a más alumnos. La UAM se fundó en 1974 y en la actualidad cuenta con una Rectoría General y cinco Unidades con su organigrama propio: Azcapotzalco, Iztapalapa, Xochimilco, Cuajimalpa y Lerma. Las tres primeras datan de 1974, las dos últimas de 2005 y 2009, respectivamente. En el inicio se decidió ubicar la investigación científica en la Unidad Iztapalapa; las carreras profesionalmente hablando o tradicionales, como las ingenierías y la arquitectura en la Unidad Azcapotzalco y las relacionadas con las ciencias de la salud en la Unidad Xochimilco. La ubicación estratégica de las unidades universitarias cumplió con el objetivo de favorecer la descentralización permitiendo el pleno desarrollo de cada una de ellas. Actualmente, la Universidad Autónoma Metropolitana cuenta con 77 licenciaturas, 12 especializaciones, 56 maestrías y 37 doctorados, que se imparten en sus cinco unidades.

La institución es una de las universidades con mayor reconocimiento académico en México. En 2016, es la segunda mejor universidad de dependencia pública y tercera incluyendo las privadas; es la segunda en México en tener un mayor número de profesores-investigadores de tiempo completo con doctorado, de acuerdo con el Estudio Comparativo de Universidades Mexicanas (ECUM); la segunda en tener mayor número de investigadores incorporados en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y la segunda en tener a investigadores en el nivel III del mismo. Una de las principales universidades en México en aportar el mayor número de investigaciones. Así como ser la segunda institución en tener publicaciones en revistas arbitradas, como en el ISI, Latindex y en revistas incluidas en el *Índice de revistas mexicanas de investigación científica y tecnológica* del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), también se encuentra entre las primeras cuatro con el mayor número de patentes otorgadas en México. <[https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad\\_Aut%C3%B3noma\\_Metropolitana](https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_Aut%C3%B3noma_Metropolitana)>. La UAM cuenta con más de 3 mil profesores-investigadores y aproximadamente 53 mil alumnos.

La UAM se encuentra organizada de acuerdo con su estructura orgánica, en un modelo de órganos colegiados, unidades académicas, divisiones y departamentos, estos últimos incluyen las áreas de investigación en donde se encuentra fundamentalmente la organización de la actividad de investigación.

El grupo de investigación al que se hace referencia se encuentra asentado en el Área de Química de Materiales, una de las nueve áreas de investigación del Departamento de Ciencias Básicas (DCB) de la División de Cien-

cias Básicas e Ingeniería (DCBI) de la Unidad Azcapotzalco. Estas áreas que conforman el Departamento de CB desarrollan actividades en las disciplinas de física, matemáticas y química.

El grupo de investigación forma parte del proyecto aprobado por el Consejo Divisional desde hace más de diez años, cuyo título es: “síntesis, modificación y aplicación de materiales sólidos porosos a fenómenos de sorción y catálisis”, el cual se encuentra adscrito a la línea de investigación divisional: Desarrollo y caracterización de materiales, y al programa de investigación del área: Estudios teóricos y experimentales de mecanismos de reacción y fenómenos superficiales de materiales y su aplicación como adsorbentes y catalizadores en procesos de separación, purificación y de obtención de productos de alto valor agregado.

El objetivo general del proyecto es el de contribuir al desarrollo de materiales porosos naturales y sintéticos que permitan la captura y almacenamiento de  $H_2$ ,  $CO_2$  y su transformación en productos de elevado valor agregado y la eliminación de colorantes tóxicos por medio de fotocatalisis.

Dentro de los objetivos particulares se encuentra la síntesis de materiales de estructura metal-orgánica (MOFs, por sus siglas en inglés), nanotubos de carbono de pared simple y múltiple, materiales mesoporosos MCM-41 y SBA-15, hidróxidos dobles laminares o tipo hidrotalcita y zeolitas sintéticas (mordenita, chabazita, etc.); así como la utilización de zeolitas naturales (mordenita, chabazita, etc.) modificadas y funcionalizadas; la caracterización de los materiales estudiados y su evaluación en los diferentes temas del proyecto.

Como antecedente del presente proyecto, éste se enfocó principalmente en el estudio y desarrollo de adsorbentes a base de zeolitas naturales, de abundante presencia en la república mexicana. Se caracterizaron algunos materiales provenientes de yacimientos de Sonora, Tamaulipas, San Luis Potosí y Oaxaca principalmente; del mismo modo, se modificaron para mejorar sus propiedades por medio de intercambio catiónico, éstos se emplearon en la captura de ion amonio, de metales pesados: cromo, arsénico, manganeso, entre otros.

Hoy por hoy, el proyecto desarrolla varios temas indicados a continuación, siendo los dos primeros los que se encuentran dentro del rango de la nanotecnología:

## Captura y almacenamiento de $H_2$

En las últimas décadas se ha impulsado la investigación sobre el hidrógeno al considerarlo uno de los combustibles más viables y limpios para sustituir a los combustibles convencionales, dado que el producto primario de la combustión es el vapor de agua. Aunque hay un avance acelerado en los métodos de obtención de hidrógeno, el almacenamiento de este recurso sigue siendo un problema para su utilización. Se ha observado en la literatura que el alma-

cenamiento de hidrógeno en materiales sólidos (adsorbentes) es la manera más segura y compacta, ya que es posible capturar una mayor cantidad de hidrógeno en un menor volumen. Otra ventaja importante es el requerimiento de menor cantidad de energía en su almacenamiento, pues estos materiales sólidos se pueden utilizar a presiones y temperaturas ambientales. La capacidad de adsorción-desorción es una ventaja más, ya que es posible controlarla variando la temperatura del adsorbente. Entre los materiales (adsorbentes) con capacidad de almacenar hidrógeno se encuentran: nanotubos de carbono, zeolitas, estructuras metal-orgánicas, grafeno, hidruros de metales convencionales, hidruros metálicos complejos y boranos, etc. El grupo se encuentra realizando investigación con nanotubos de carbono y estructuras metal-orgánicas (MOFs) los cuales están siendo de gran interés debido a que ambos sistemas han demostrado tener capacidades de adsorción para este gas, la cual se ha mostrado superior al 2% en peso a 77 K y baja presión, con áreas específicas mayores a 7000 m<sup>2</sup>/g, para el caso de las MOFs.

## Transformación de CO<sub>2</sub> en productos de valor agregado

Siguiendo los principios básicos de la sostenibilidad, que son: reducir, reciclar y reutilizar, son cada vez más los grupos de investigación en todo el mundo los que plantean la posibilidad de reutilizar el CO<sub>2</sub>, transformándolo en productos de alto valor agregado, como una alternativa diferente a su captura. Hay varias posibilidades interesantes para la conversión del CO<sub>2</sub> en el área de la fotocatalisis y la electrocatalisis, pero éstas han recibido poca atención aplicadas a la catálisis medioambiental. Aunado a lo anterior, es importante recordar la aseveración de Styring en la conferencia que presentó (Faraday discussion 155 On artificial photosynthesis, en el 2011), “el mundo requiere nuevos combustibles, ambientalmente amigables, además de regenerables para sustituirlos por los combustibles fósiles. El combustible debe ser producido a partir de fuentes baratas, renovables y que estén disponibles en cualquier lugar. La nueva área de investigación de combustibles solares, apunta a satisfacer esta demanda”. Por lo que, considerando la conversión de CO<sub>2</sub> un problema catalítico fundamental, el grupo de investigación ha incurrido en la temática utilizando zeolitas naturales (mordenita, chabazita, etc.) como soportes catalíticos de semiconductores como el óxido de titanio con resultados prometedores.

## Degradación fotocatalítica de colorantes orgánicos

Hay un gran número de diferentes tipos de contaminantes orgánicos como son: colorantes, fenoles, aceites, grasas, pesticidas, detergentes, productos farmacéuticos, por mencionar algunos, siendo los colorantes los más significativos, dado que del total de los contaminantes de las aguas residuales representan del 17 al 80 %. Éstas son moléculas muy complejas y químicamente

muy estables, no degradables en agua, las cuales causan una severa contaminación. Uno de los retos de importancia es disminuir este problema. En las últimas décadas, se han reportado varios métodos de eliminación de colorantes; sin embargo, no han sido del todo efectivas. Por lo que hay una necesidad enorme de encontrar tratamientos alternativos que sean eficaces y rentables para la eliminación de los colorantes. Una alternativa ha sido utilizar la fotocatalisis usando catalizadores semiconductores logrando oxidar las moléculas orgánicas en productos menos tóxicos o llevar a cabo la mineralización completa de los mismos ( $H_2O$  y  $CO_2$ ). Hasta la fecha, el  $TiO_2$  ha sido el fotocatalizador de mayor éxito debido a su alta eficiencia, bajo costo y disponibilidad. Las últimas investigaciones sobre nuevos materiales fotocatalíticos, ya sean semiconductores o no, han emitido una serie de posibles sustitutos, en especial en el caso de las aplicaciones que hacen uso de la luz solar.

Los MOFs recientemente, se han examinado como fotocatalizadores para conducir un número de transformaciones orgánicas motivadas en gran parte por una demanda de solucionar los problemas de contaminación, en vista de sus aplicaciones potenciales en la degradación de contaminantes orgánicos. Está claro que los denominados MOFs proporcionan una oportunidad única para explorar nuevos catalizadores y lograr un buen rendimiento frente a la degradación de contaminantes orgánicos. Los MOFs con propiedades fotosensibles pueden tener un papel activo, pues los ligandos orgánicos pueden absorber fotones y transferir electrones por parte del ligando al centro metálico resultando en un estado excitado fotogenerado. En la síntesis de los MOFs, los ligandos más comunes son los policarboxilatos aromáticos, después de absorber fotones pueden transferir éstos a los cationes de metal unidos a ellos debido a su exceso de electrones. Además, el ligando orgánico tiene bandas de absorción intensas centradas en una longitud de onda de 250 nm y, dependiendo de los sustituyentes, ésta se puede desplazar hasta los 300 nm, e inclusive hasta la región en el visible, por lo cual el uso de materiales MOFs como fotocatalizadores es un campo muy amplio y emergente que el grupo de investigación está incursionando.

## Nanotubos de carbono y grafeno como sustratos en la generación de hidrógeno

En nuestro grupo también se está realizando investigación en el uso de los nanomateriales como los nanotubos de carbono y grafeno siendo éstos de gran interés dado que presentan excelentes propiedades como alta conductividad eléctrica, y una gran capacidad de almacenamiento de carga, lo que sugiere que los electrones fotogenerados en el fotocatalizador ( $TiO_2$  o MOFs) se pueden transferir a los nanotubos de carbono, que tienen un nivel de fermi menor, lo cual favorece la separación de cargas. Los nanotubos de carbono al igual que el grafeno podrían modificar la banda prohibida o actuar como fotosensibilizadores, por lo que podrían absorber fotones del visible y

transferir electrones al semiconductor. Estos nanomateriales aplicados a la fotocatalisis están siendo muy estudiados, ya que pueden aumentar la eficiencia de fotocatalizadores como el óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) modificando así sus propiedades estructurales, químicas, térmicas y eléctricas. En cuanto a las propiedades estructurales, su extensa área específica ( $200\text{-}400\text{ m}^2/\text{g}$ ) incrementa el área de un material compuesto basado en nanotubos de carbono/semiconductor, incrementando así el número de sitios activos.

## Colaboraciones y proyectos

- Convocatoria Conjunta de Movilidad, 2016, México-Francia. Proyecto: *Determinación de los sitios óptimos en la adsorción de hidrógeno en la MOF HKUST-1 mediante cálculos teóricos*, estancia de un alumno. Universidad Pierre et Marie Curie Sorbona, París VI.
- Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica del CONACYT. Proyecto: *Fortalecimiento del Área de Química de Materiales en la síntesis y caracterización de nanotubos de carbono (NTCs) sintetizados a partir de materiales híbridos metal-orgánicos (MOFs)*. 2015.
- Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica del CONACYT. Proyecto: *Estudio de la relación estructura-actividad en catalizadores nanoestructurados empleados en la generación de hidrógeno y degradación de contaminantes monitoreado con espectrofotómetros Raman y UV-vis in situ y operando*. 2015.
- Captura y confinamiento de  $\text{CO}_2$  y estudio de su transformación sustentable en productos con valor agregado. CONACYT-SENER/IIM-UNAM/UAM-A. Fondo: S0019; Proyecto 150358. 2011-2013.
- Formación de nanotubos de carbono a partir de sitios activos, situados en las cavidades de sólidos mesoporosos MCM-41. Proyecto de cooperación científica y tecnológica internacional bilateral. Programa: Convenio Bilateral México-Francia J110. 524/2006 CONACYT-CNRS (2006-2008). Institut de Recherches sur la Catalyse et l'Environnement (IRSCE/CNRS), Lyon, Francia.
- Proyecto FIES-98-37-III. Desarrollo de nuevos materiales a base de membranas catalíticas para su aplicación en reacciones de refinación del petróleo: alquilación de isoparafinas para la obtención de gasolinas de alto octano. Convenio UAM-A/Instituto Mexicano del Petróleo 1998-2001.
- Estudio por microscopía electrónica de barrido y microsonda de energía dispersa a partículas suspendidas PST y PM10, contenidas en los filtros de la red automatizada de monitoreo atmosférico (Raman) de la ZMVM. UAM-A – Dirección de Prevención y Control del Medio Ambiente, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal. 1998-2000.



- Proyecto de Excelencia: “Evaluación de zeolitas naturales como adsorbentes”, UAM-I, UAM-A y CONACyT. 1994.
- Fondo para el fortalecimiento de la Infraestructura CONACyT, F-645, para el fortalecimiento y creación de una nueva infraestructura para el Departamento de Ciencias Básicas. UAM-A y CONACyT. 1995.
- Proyecto Fondo para el fortalecimiento de la Infraestructura CONACyT, F-236-E, para el desarrollo del Laboratorio de Catálisis y Adsorción, UAM-A y CONACyT. 1993.
- Se participó en las siguientes redes y proyectos coordinados por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CyTED:
  - a) Red Temática V.C.: “Catalizadores para la protección ambiental”. Subprograma V: “Catalizadores y adsorbentes para el medio ambiente y calidad de vida”. 2001-2003.
  - b) Proyecto V.6: Desarrollo de adsorbentes para la remoción de metales pesados en efluentes industriales. Subprograma V: “Catalizadores y adsorbentes para la protección del medio ambiente. 1998-2004.
  - c) Red Temática Tamices Moleculares. Subprograma V: “Catálisis y adsorbentes”. 1991-1993.

## Infraestructura disponible

El grupo de investigación del Área de Química de Materiales cuenta con laboratorios de investigación ubicados en el edificio G y G-bis de la Unidad Azcapotzalco:

– Laboratorio de microscopía electrónica de barrido, laboratorio de DRX, laboratorio de caracterización (espectroscopías), laboratorio de caracterización de texturas y un laboratorio de preparación de muestras y síntesis de materiales.

La infraestructura disponible del grupo de investigación del Área de Química de Materiales se indica a continuación:

– Equipo de espectroscopía Raman *in via*, Renishaw, el cual está compuesto de tres láseres (488, 532 y 765 nm) y una celda Linkam en la cual se pueden realizar estudios a diferentes temperaturas y con un flujo continuo de gases (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, aire, etc.) (figura 1). Equipo de espectroscopía Raman para líquidos portátil 100, Renishaw (figura 2). Equipo de espectroscopía UV-vis con celda de flujo y accesorio de reflectancia

FIGURA 1. Espectroscopia Raman *in via*, Renishaw.

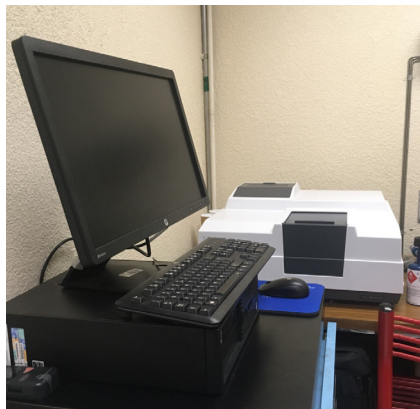


difusa, Agilent Technologies, Cary 1G (figura 3). Micro cromatógrafo de gases, Varian (figura 4). Equipo de texturas Tristar, Micromeritics (figura 5). Difractómetro de rayos-X X'Pert Philips. Microscopio electrónico de barrido MEB, LEO 440 con detector EDS acoplado y su equipo de recubrimiento para muestras. Medidor de texturas: sistema de medición de adsorción volumétrica automático, medición de isothermas completas de adsorción y desorción de gases; caracteriza a detalle micro, meso y macroporos; superficie específica por BET y otros. Belsorp Max de Bel Japan. Analizador automático de adsorción física y química con TPD/TPR/TPO (reducción/oxidación/desorción a temperatura programada). BELCAT-B de Bel Japan. Espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier FTIR, Nicolet. Cromatógrafo de gases con detector FID. Marca HP Modelo 6890.

**FIGURA 2.** Equipo de espectroscopía Raman para líquidos portátil 100, Renishaw.



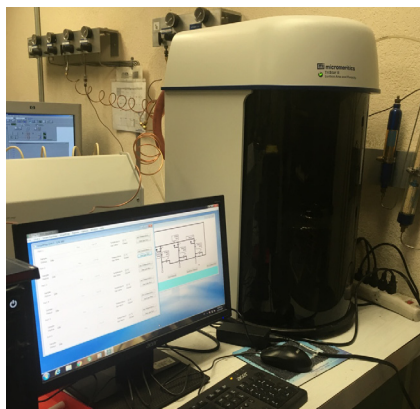
**FIGURA 3.** Equipo de espectroscopía UV-vis.



**FIGURA 4.** Micro cromatógrafo de gases.



**FIGURA 5.** Equipo de texturas Tristar, Micromeritics.





Además, se tienen algunos equipos menores como son: sistema de reacción para el crecimiento de nanotubos de carbono (figura 6); reactor PARR (300 mL); horno de convección mecánica c/control programable 2 rampas, 10 a 250 °C, Thermolyne; mufla con control programable de temperatura y velocidad de calentamiento, Ney. modelo 1350; Rotavapor Buchi; baño de recirculación Thermolyne; bomba peristáltica; agitador ultrasónico Branson B 1200 R-1; dos controladores máxicos de flujo, 4 canales, 4 transductores, manejo de aire, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y/o hidrocarburos gaseosos; dos balanzas analíticas; horno tubular para sistema de reacción y un sistema generador de agua desionizada Millipore.

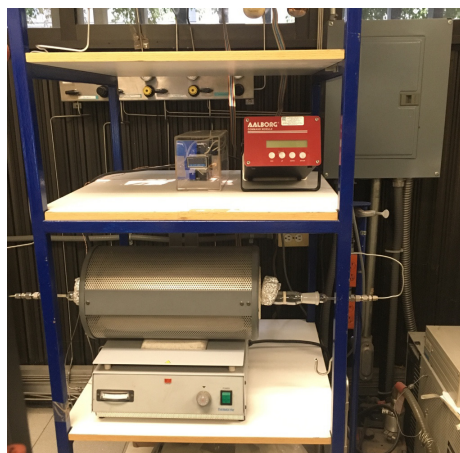


FIGURA 6. Sistema de reacción para el crecimiento de nanotubos de carbono.

## Docencia y formación de recursos humanos

Siendo la Universidad Autónoma Metropolitana la universidad que estableció el modelo de profesor-investigador, todos los académicos de la institución deben de cumplir con al menos dos de las tres funciones señaladas en el Reglamento Orgánico de la Universidad: docencia, investigación y difusión de la cultura. Así, los miembros del grupo de investigación participan en los programas de estudio de licenciatura, maestría y doctorado de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Por lo que impartimos los cursos de estructura atómica y enlace químico y estructura y propiedades de los materiales en ingeniería y sus respectivos laboratorios en el tronco general, que involucra alumnos de las diez carreras de ingeniería (ambiental, civil, computación, eléctrica, electrónica, física, industrial, mecánica metalurgia, y química); asimismo se imparten cursos en el tronco profesional de las carreras de ingeniería química (química orgánica, química inorgánica I y II y sus respectivos laboratorios; caracterización de materiales catalíticos en ingeniería, etc.), así como las unidades de enseñanza aprendizaje que contemplan la dirección de proyectos de investigación: Proyecto de Integración en Ingeniería Química I y II e Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Química, entre otras. Con respecto a la maestría se imparten los cursos de química de materiales, caracterización de materiales, estado sólido, evaluación de materiales, seminario de química de materiales, así como las unidades de enseñanza aprendizaje que contemplan la dirección de tesis y seminarios: Proyecto de Investigación I, II y III; Seminario de Investigación I, II y III.

La formación de recursos humanos en el área de catálisis contempla 42 Proyectos de Integración (equivalente al trabajo de tesis para egresar de la licenciatura en ingeniería química) dos en curso; 10 de maestría y cuatro en

curso y dos de doctorado. Las tesis de maestría en curso están inmersas en la temática de la nanotecnología.

## Principales logros

Uno de los logros fundamentales del grupo fue la fundación del Posgrado en Ciencias e Ingeniería (1998) con dos líneas: la de ciencias e ingeniería de los materiales y la de ciencias e ingeniería ambientales, ambos con maestría y doctorado, el cual ha permanecido en el Padrón Nacional del Posgrado desde hace aproximadamente doce años. Otro logro reciente ha sido la aprobación de dos proyectos en la convocaria “Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica” del CONACYT por \$5,000,000 pesos cada uno. Lo anterior permitió al grupo continuar con la adquisición de equipo fundamental para la caracterización de materiales como son los de espectroscopía Raman *in Via* y Raman para líquidos, espectroscopía UV-vis con reflectancia difusa, el equipo de texturas Tristar y el micro-cromatógrafo de gases, entre otros.

Asimismo, consideramos que se ha formado un grupo de investigación sólido con diferente formación académica, que ha logrado enfocarse en la catálisis y que en los últimos años ha empezado a incursionar en la nanotecnología enfocada a resolver la problemática ambiental.

## Áreas de oportunidad y perspectivas

Consideramos que se tiene un grado de avance importante en el estudio de la síntesis de diversas estructuras metal-orgánicas (MOFs), éstas tienen a futuro buenas perspectivas para la degradación de colorantes y en particular han dado excelentes resultados en la captura de hidrógeno, por lo que se considera continuar la investigación en vías de mejorar sus propiedades fisicoquímicas buscando la inclusión de nanotubos de carbono.

En referencia al tema de la transformación del bióxido de carbono en productos de elevado valor agregado como son los combustibles, se continuará utilizando tanto las zeolitas sintéticas como las naturales, buscando la mejor dispersión de semiconductores como el  $\text{TiO}_2$  entre otros, al interior de los canales de las zeolitas, se investiga la formación de nanopartículas al interior de los materiales mencionados.

En cuanto a la síntesis de nanotubos de carbono tanto de pared simple como de pared múltiple, si bien se ha logrado obtenerlos, consideramos a futuro emprender un estudio sistemático de los diferentes parámetros que intervienen en su formación como son: los metales empleados, los soportes catalíticos de dichos metales, flujos de gases, temperaturas, tiempos de reacción, obtención del mínimo de material amorfo y perfeccionar su purificación.

En general, el proyecto continuará enfocado a la remediación y abatimiento de la contaminación atmosférica.