

La catálisis en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico*

Rodolfo Zanella**

RESUMEN: En este trabajo se describe el origen de los estudios sobre catálisis en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la Universidad Nacional Autónoma de México, la evolución de los mismos y las líneas de investigación y desarrollo que se cultivan actualmente en dicha área; asimismo, se describen los proyectos que se desarrollan hoy en día y los concluidos en los pasados diez años. Se hace un recuento de las colaboraciones establecidas, de la infraestructura disponible para realizar investigación en el área de catálisis y de los principales logros obtenidos en los últimos años. Al final del trabajo se presentan las perspectivas que, desde el punto de vista de los académicos del Centro que trabajan en catálisis, tiene esta área para el futuro.

PALABRAS CLAVE: CCADET, catálisis heterogénea, fotocatalisis, nanocatálisis, oro, platino.

ABSTRACT: This work describes the origin of the studies on catalysis at the Center for Applied Sciences and Technological Development (Spanish acronym: CCADET) of the National Autonomous University of Mexico, their evolution, and the lines of research and development that are currently being pursued in this field. The projects that are being developed and those that were concluded in the last ten years are also described. An account of the collaborations that have been established, the infrastructure available to carry out research in the area and the main achievements in the field of catalysis in recent years is given. At the end of the paper, the future perspectives for this area, from the point of view of the members of the academic community of the Center working in catalysis, are presented.

KEYWORDS: CCADET, heterogeneous catalysis, photocatalysis, nanocatalysis, gold, platinum.

Introducción

El Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) forma parte del Subsistema de la Investigación Científica de la UNAM, integrado por más de 30 institutos y centros de investigación. El CCADET se encuentra ubicado en el Circuito Exterior de Ciudad Universitaria en la Ciudad de México, rodeado por la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel (figura 1). El trabajo académico del CCADET conjunta la docencia, la investigación y la difu-

Recibido: 20 de enero de 2017. Aceptado: 2 de marzo de 2017.

* Se agradece la información proporcionada por el Dr. José M. Saniger Blesa, la cual fue muy valiosa para describir los orígenes y los antecedentes de los estudios sobre catálisis en el CCADET; asimismo, la de los doctores Juan Carlos Durán y Ma. Del Rocío Redón, sobre su trabajo en catálisis; al Sr. Francisco Cabiedes Contreras por la toma de las imágenes con las que fue ilustrado este trabajo, y a la Lic. Nora Reyes Rocafuerte.

** Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico-UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, A.P. 70-186, C.P. 04510, Delegación Coyoacán, Cd. Mx., México.
Correspondencia: (rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx), tel. +52 (55) 56228601.



Figura 1. Instalaciones del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico en Ciudad Universitaria.

sión de la cultura, es una entidad multi e interdisciplinaria especializada en instrumentación científica e industrial, micro y nanotecnologías, tecnologías de la información, y enseñanza de las ciencias; conjunta su especialización en los campos arriba mencionados y dirige su experiencia a las áreas de salud, medio ambiente, energía, y educación. En el campo de conocimiento de las micro y nanotecnologías (*Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, vol.9, núm.16) se estudia principalmente el desarrollo de nanomateriales y microdispositivos con aplicaciones en salud, medio ambiente y energía; películas delgadas; desarrollo de plataformas espectroscópicas para el estudio de interacciones moleculares; nanocatálisis y fotocatalisis; materiales nanoestructurados de carbono y materiales magnéticos suaves y nanoestructurados.

Los estudios de catálisis en el CCADET se originan en proyectos relacionados con el manejo del hexafluoruro de uranio (UF_6) y con el estudio de la corrosión por UF_6 de la aleación Al-7075, los cuales establecieron, a su vez, las raíces para la formación del Grupo de Química de Materiales del entonces Centro de Instrumentos. Estos proyectos alentaron, a finales de los años ochenta del siglo XX, a la tesis doctoral del Dr. José M. Saniger Blesa (actualmente investigador titular C y exdirector del CCADET) y a las tesis de tres es-

tudiantes de licenciatura. La corrosión ocurría por la reacción del vapor de UF_6 sobre la superficie del Al-7075, se trataba del estudio de una reacción sólido-gas y de los productos de reacción que se originaban en la superficie del sólido. Concluido este proyecto, y aprovechando la experiencia acumulada sobre la fluoración directa de materiales con flúor gaseoso, se vio como un nicho de oportunidad el estudio de la modificación de las propiedades de algunos materiales, especialmente óxidos, al promover una sustitución parcial de oxígeno por flúor en su estructura, a través de un proceso de fluoración directa. Los materiales seleccionados para este fin fueron las zeolitas y las alúminas de transición, ambos ampliamente utilizados como materiales catalíticos, ya sea como catalizadores intrínsecos o como soportes para el depósito de nanopartículas con actividad catalítica. Como es bien sabido, la fluoración de zeolitas y alúminas de transición modifica fuertemente su acidez superficial, por lo que se propuso que una fluoración controlada de estos materiales permitiría modular su acidez y en consecuencia mejorar su actividad y/o selectividad hacia reacciones específicas.

Los primeros estudios de sustitución O/F se llevaron a cabo sobre la zeolita 4A, con la idea de probarla como un agente fluorante suave. Los resultados obtenidos no fueron los esperados y los estudios se detuvieron por algún tiempo, renovándose a finales de los años noventa con la intención de conocer detalladamente los procesos de fluoración de estos materiales y trabajando en esta ocasión con dos tipos de zeolitas, la HY y la ZSM5, ampliamente utilizadas como catalizadores en la industria petrolera. La realización de estos trabajos formó parte de la tesis doctoral de la Dra. Norma A. Sánchez Flores (actualmente técnico académico titular C en el CCADET); a partir de estos trabajos se establecieron colaboraciones con grupos catalíticos del país (en especial con el IMP y el IFUNAM) y del exterior (Francia), interesados en el estudio y caracterización de zeolitas fluoradas, principalmente con el Dr. José J. Fripiat, quien durante varios años fue profesor invitado del Grupo de Materiales y Sensores, que más tarde se convirtió en el Grupo de Materiales y Nanotecnología.

En la primera década de este siglo, se comenzó a trabajar en la síntesis de otros materiales de interés catalítico y fotocatalítico, preferencialmente SiO_2 y TiO_2 . Para ello se planteó un método novedoso de síntesis de óxidos a través de la sonólisis de una mezcla de alcóxidos y H_2O en ausencia de catalizador, lo cual permitió obtener óxidos de titanio o de silicio de alta pureza, con un área específica muy alta (de hasta $700 \text{ m}^2/\text{g}$) y con propiedades texturales que pudieron modularse según la atmósfera en la que se llevó a cabo la reacción de sonólisis. Este trabajo fue la tesis doctoral del Dr. José Ocotlán Flores Flores (actualmente técnico académico titular B en el CCADET).

Con estos antecedentes, el inicio de los trabajos sistemáticos sobre catálisis en el entonces laboratorio de materiales y sensores se sitúa hacia los años 2004-2005, cuando concurren dos circunstancias favorables: la incorporación al grupo como becarios posdoctorales de los doctores María del Rocío

Redón y Rodolfo Zanella y la participación del CCADET en el Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental (PUNTA), en el que fungieron el Dr. José M. Saniger Blesa, como coordinador de dicho proyecto, y el Dr. Rodolfo Zanella Specia, como responsable del proyecto de desarrollo de nanocatalizadores de Au depositados en soportes reducibles, para su uso en reacciones de abatimiento de la contaminación atmosférica. Es así como se inicia el desarrollo sistemático y sostenido de una nueva línea de investigación en el CCADET en torno al estudio de materiales catalíticos y fotocatalíticos, para el abatimiento de la contaminación del aire, procesos fotocatalíticos para la degradación y mineralización de contaminantes orgánicos en agua y reacciones tanto catalíticas como fotocatalíticas para la producción y purificación de hidrógeno. Estos estudios los realiza el actual Grupo de Materiales y Nanotecnología, integrado por 8 investigadores y 6 técnicos académicos, de los cuales 3 investigadores y un técnico académico tienen como área de investigación principal los procesos catalíticos, sin embargo, hay otros investigadores y técnicos académicos que inciden de manera directa o indirecta en estudios de catálisis, aunque ésta no sea su línea de investigación o de desarrollo principal. Adicionalmente, hay dos becarios posdoctorales y más de una docena de estudiantes realizando sus tesis de licenciatura, maestría y doctorado en temas relacionados con catálisis homogénea, heterogénea y fotocatalisis.

Asimismo, entre los años 2012 y 2013 se crearon en el CCADET, con el aval de la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM, dos Laboratorios Universitarios, el de Nanotecnología Ambiental (LUNA) y el de Caracterización Espectroscópica (LUCE). En la figura 2 se muestran algunas imágenes del edificio y algunos de los equipos de dichos laboratorios. El LUNA tiene como objetivo apoyar el desarrollo científico y tecnológico, la docencia, la formación de recursos humanos de alta calidad así como a la industria nacional mediante la prestación de servicios altamente especializados en las áreas de materiales nanoestructurados, catálisis, fotocatalisis, medio ambiente y energía. Cuenta con varios equipos de evaluación catalítica en fase gas acoplados a cromatógrafos de gases con detectores de masas, un cromatógrafo de líquidos acoplado a un espectrómetro de masas de triple cuadrupolo y equipos para medir carbono orgánico e inorgánico y nitrógeno total en muestras, además de equipos para estudiar reacciones fotocatalíticas para resolver problemas de contaminación, así como equipos para estudiar la generación fotocatalítica de hidrógeno a partir del agua. Por otra parte, el propósito del LUCE es apoyar los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico relacionados con el estudio espectroscópico de materiales, así como contribuir a la formación de recursos humanos en este campo a nivel de licenciatura y posgrado, y apoyar al sector público e industrial del país a través de proyectos de desarrollo conjuntos o prestación de servicios altamente especializados. Cuenta con equipos avanzados de espectroscopía Raman, infrarroja, UV-VIS-NIR y de fotoluminiscencia, además de microscopios de fuerza atómica y óptica. Estos dos laboratorios junto con los acadé-



FIGURA 2. Los laboratorios universitarios en el CCADET y algunos de sus equipamientos.

micos que lo integran apoyan fuertemente la investigación que se realiza en catálisis heterogénea y fotocátalisis en el CCADET.

Líneas de investigación y desarrollo y proyectos patrocinados en el área de catálisis

Las líneas de investigación que se cultivan en el Grupo de Materiales y Nanotecnología y en los laboratorios LUNA y LUCE del CCADET relacionadas con catálisis son: reacciones de abatimiento de la contaminación atmosférica (oxidación de CO, reducción de NO, oxidación total de hidrocarburos); reacciones enfocadas a la producción y purificación de hidrógeno (reacción de desplazamiento del gas de agua o *water gas shift*), reacción de ruptura de la molécula de agua (*water splitting*) y oxidación preferencial de CO (PROX); degradación y mineralización fotocatalítica de compuestos orgánicos (contaminantes emergentes y convencionales) en aguas empleando luz UV y luz solar simulada; fotosíntesis artificial; depósito de nanopartículas metálicas y bimetalicas (Au, Ag, Cu, Ni, Ru, Co, Ir y Fe) sobre óxidos reducibles y no reducibles (ej. TiO_2 , CeO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , MgO , ZnO , CuO , Bi_2O_3) por métodos en fase líquida (depósito-precipitación, adsorción de iones, rutas coloidales); síntesis de óxidos metálicos nanométricos puros, dopados y mixtos, así como la



FIGURA 3. Los 2 equipos de evaluación catalítica en fase gas con que cuenta el Laboratorio Universitario de Nanotecnología Ambiental.

síntesis y evaluación catalítica de nanopartículas metálicas del grupo del platino y su comparación con compuestos organometálicos discretos y con compuestos dendriméricos organometálicos.

Los proyectos financiados que actualmente se desarrollan en torno a la catálisis en el CCADET son los siguientes:

- a) Financiados por CONACYT en alguna de sus diferentes convocatorias: i) Nanocatalizadores para el control de la contaminación en ambientes cerrados; ii) Síntesis y caracterización de materiales a base de nanopartículas de Au soportadas en TiO_2 puro y modificado para la producción fotocatalítica de H_2 ; iii) Degradación de compuestos orgánicos volátiles utilizando catalizadores bimetálicos soportados en óxidos de cerio y de titanio.
- b) Financiados por la UNAM ya sea en convocatorias del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) o del Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME): i) Modificación superficial de semiconductores con nanopartículas metálicas como fotocatalizadores para producción de hidrógeno y degradación de contaminantes orgánicos; ii) Desarrollo de nanomateriales fotocatalíticos para la degradación de contaminantes en agua; iii) Desarrollo de curso-taller de cromatografía de líquidos con espectrometría de masas como apoyo a la enseñanza para los laboratorios de Química Analítica de la Facultad de Química.
- c) Financiados por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México: i) Diseño, prueba de concepto y construcción de un sistema fotocatalítico a escala piloto para la purificación del agua de suministro en escuelas de la Ciudad de México.

Durante los últimos 10 años se han desarrollado cerca de una veintena de proyectos concluidos satisfactoriamente, entre los más relevantes se pueden

mencionar: el (mega)proyecto universitario de nanotecnología ambiental (PUNTA), financiado por la UNAM, así como otros proyectos financiados por la UNAM, el CONACYT o por empresas que han llevado por título: Estudio fisicoquímico de nanopartículas Au-M soportadas para su uso en catálisis ambiental; Catalizadores bimetálicos soportados en óxidos reducibles para reacciones de oxidación total y purificación de hidrógeno; Estudio de catalizadores Au-Cu y Au-Ir para reacciones de purificación de hidrógeno (PROX y WGS); Estudio exploratorio para la obtención de nanopartículas metálicas sobre silicoaluminatos nanoestructurados con propiedades conductoras de electricidad y catalíticas, estabilización de nanopartículas Au-M soportadas en óxidos mixtos y dopados para su uso como catalizadores en reacciones de interés ambiental; actualización de equipo de catálisis heterogénea: aplicaciones en degradación de contaminantes orgánicos; catalizadores bimetálicos a base de nanopartículas de oro para reacciones de abatimiento de la contaminación atmosférica; estudio fisicoquímico de nanopartículas de oro, plata y cobre soportadas para su uso en catálisis ambiental; preparación de nanopartículas de metales del grupo IB soportadas, como catalizadores para producción de hidrógeno; preparación de nanopartículas de oro soportadas para aplicaciones catalíticas y de sensado de gases; catalizadores dendriméricos. Una visión nanoestructurada y heterogenizada; nanosistemas catalíticos. Síntesis alternativas a los métodos coloidales; síntesis y caracterización de nanopartículas de Ir(0) en ausencia de disolventes y su interacción con dendrones base triazina de generación cero; compositos con nanopartículas metálicas de metales del grupo del platino y dendrimeros de generaciones pequeñas. Sus aplicaciones catalíticas; entre otros.

En su conjunto, el desarrollo de estos proyectos ha generado cerca de 100 artículos publicados en revistas indizadas, la obtención de una patente en México, más de 50 tesis concluidas en todos los niveles académicos, el desarrollo de 6 estancias posdoctorales, el desarrollo de más de 20 estancias tanto de profesores visitantes (en su mayoría extranjeros) o de los académicos del CCADET en laboratorios externos, cerca de 200 presentaciones en congresos tanto nacionales como internacionales y un número importante de acciones de apropiación social del conocimiento, como entrevistas en diferentes medios impresos y electrónicos, artículos de divulgación, participación en ferias, foros, entre otros.

Colaboraciones con instituciones nacionales e internacionales

Los académicos que realizan investigación en catálisis en el CCADET colaboran o han colaborado con investigadores de diferentes entidades de la UNAM como el Instituto de Física, el Instituto de Ingeniería, el Instituto de Investigaciones en Materiales, el Instituto de Química, el Instituto de Ciencias Nucleares, el Instituto de Geología, el Centro de Nanociencias y Nanotecnología.

logía y las Facultades de Química, de Estudios Superiores Iztacala y de Estudios Superiores Cuautitlán; también colaboran con investigadores o profesores de Instituciones de Educación Superior o Centros de investigación en México, como la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma de Nuevo León, el Instituto Potosino de Investigaciones Científicas y Tecnológicas y el Instituto Politécnico Nacional, así como con universidades y centros de investigación en el extranjero, entre los que destacan las Universidades de Purdue y Texas Christian en los Estados Unidos de América; el Laboratorio de Reactividad de Superficies, Universidad París VI-CNRS y la Universidad de Toulouse, en Francia; las Universidades de Milán y Messina en Italia; la Academia Búlgara de Ciencias; la planta solar de Almería-CIEMAT en España; y el Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), de la Universidad Nacional del Litoral-CONICET, en Argentina.

Infraestructura disponible para la realización de actividades de investigación desarrollo o innovación en catálisis

Entre el equipamiento más destacado con que cuenta el Grupo de Materiales y Nanotecnología, el Laboratorio Universitario de Nanotecnología Ambiental (LUNA) y el Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica (LUCE) se puede mencionar:

- Dos sistemas de microrreacción en fase gas (*in situ* research, RIG-150) provistos de reactores de cuarzo acoplados a unidades de cromatografía de gases y espectrometría de masas (figura 3).
- Dos sistemas de fotorreacción para degradación de compuestos orgánicos (fármacos, plaguicidas, plasticidas) e inorgánicos presentes en aguas.
- Un sistema de evaluación fotocatalítica de nanocatalizadores para producción de hidrógeno mediante la ruptura de la molécula de agua (*water splitting*) adaptado para realizar fotosíntesis artificial (figura 4).
- Un cromatógrafo de líquidos Agilent Technologies 1260 con detector de arreglo de diodos, acoplado a un detector de masas con triple cuadrupolo Agilent Technologies 6420 y con fuentes de ionización por electrospray (ESI) o ionización química a presión atmosférica (APCI) (figura 4).
- Un analizador de carbono orgánico e inorgánico y nitrógeno total en muestras líquidas y sólidas Shimadzu.
- Cromatógrafo de gases acoplado a masas, marca Shimadzu.
- Un extractor con fluidos supercríticos (o extractor acelerado con disolventes, ASE) marca Dionex.

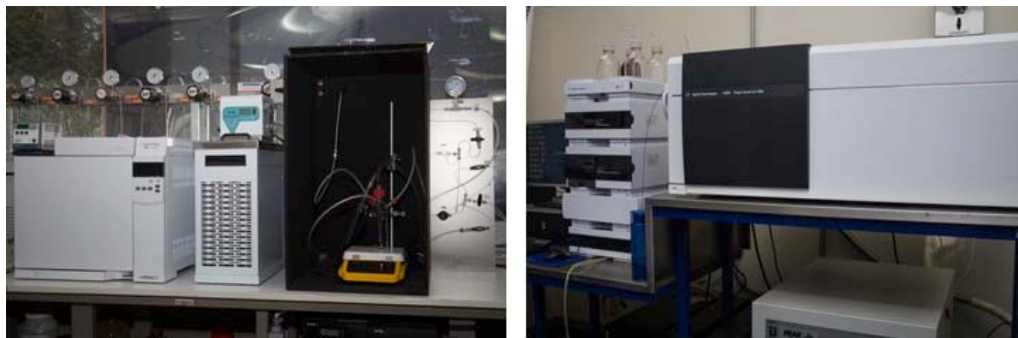


FIGURA 4. Sistema de evaluación fotocatalítica de nanocatalizadores para producción de hidrógeno mediante la ruptura de la molécula de agua y cromatógrafo de líquidos acoplado a un detector de masas con triple cuadrupolo.

- Equipos de espectroscopías infrarroja, Raman, UV-vis-NIR, fluorescencia, acoplados a celdas de temperatura y atmósfera controlada para llevar a cabo experimentos *in situ*.
- Un microscopio de fuerza atómica acoplado a espectrómetro Raman.
- Un equipo de fisisorción para determinación de área específica y porosidad en sólidos.
- Sondas de ultrasonido de alta potencia para procesos de sonoquímica.
- Sistemas de síntesis para materiales sensibles a oxígeno y agua (tren de disolventes, líneas dobles de vacío-nitrógeno; caja de guantes).
- Equipo portátil de RMN para protón (^1H).
- Laboratorios especializados para preparación de catalizadores sólidos por vía química, dotados con campanas de flujo laminar y de extracción, sondas de ultrasonido, rotavapores, hornos, mufas, medidores de pH, microbalanzas, reactores por lotes para alta presión, reactores de doble pared, sistema de recirculación de agua para calentamiento de reactores, material de vidrio diverso, entre otras facilidades.

Adicionalmente, en el CCADET se encuentra el Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva, Digitalización 3D y Tomografía Computarizada (MADiT), líder en su campo en México, con varios equipos de manufactura aditiva para polímeros termoplásticos, dos equipos para resinas fotopolimerizables y un equipo para *vacuum casting* para resinas, un equipo para impresión en metal, y uno más para biomateriales; escáneres 3D de baja, media y alta resolución, así como uno con capacidad de digitalización de textura y color; un equipo de manufactura aditiva por estereolitografía y un tomógrafo industrial computarizado, entre otros. Varios de estos equipos pueden ser empleados para “imprimir” catalizadores con formas y tamaños específicos, según los requerimientos de cada una de las reacciones estudiadas.

Principales logros en el área de catálisis

El principal logro ha sido la formación de recursos humanos de licenciatura y posgrado en el área de catálisis, así como la generación de conocimiento nuevo reflejado en la publicación de artículos de investigación, en varios casos con trascendencia nacional e internacional. Entre los principales logros científicos se puede destacar la síntesis de nuevos catalizadores heterogéneos por métodos en fase química y el estudio de los mecanismos de depósito e interacción entre los precursores metálicos y los soportes, la formación de las nanopartículas y los parámetros que influyen en su forma, tamaño e interacción con el soporte. Desarrollo de catalizadores eficientes, estables y durables en varias reacciones de abatimiento de la contaminación atmosférica, producción y purificación de hidrógeno, degradación y mineralización de contaminantes orgánicos presentes en las aguas de los efluentes residenciales, agrícolas e industriales entre los que se pueden mencionar antibióticos como el ciprofloxacino, el sulfametoxazol y la trimetoprima, herbicidas como la atrazina y el plastificante bisfenol A. Los materiales fotocatalíticos mostraron ser activos bajo irradiación de tipo UV y luz solar simulada, así como en reacciones de química fina, todas ellas de interés estratégico para el país, utilizando métodos de síntesis sencillos, eficientes y escalables industrialmente. En algunas de las reacciones fotocatalíticas estudiadas se ha logrado elucidar los mecanismos de degradación fotocatalítica a través de la determinación de los subproductos de degradación.

El desarrollo de métodos de preparación de varios sistemas bimetálicos basados en oro, entre los que se pueden mencionar Au-Ag, Au-Cu, Au-Ir, Au-Ni, Au-Co, Au-Ru, los que en todos los casos han mostrado propiedades interesantes en reacciones de oxidación ya sea total o selectiva. En la figura 5 se muestran imágenes de algunas de las formulaciones de catalizadores sintetizados en el CCADET. Los resultados obtenidos en la síntesis de catalizadores heterogéneos basados en nanopartículas de oro soportadas en óxidos, con aplicaciones a nivel ambiental, industrial y energético han tenido un impacto destacado en la comunidad científica nacional e internacional. En todos estos sistemas se ha tratado de entender el arreglo atómico en la superficie de los metales, mismo que se ha correlacionado con la actividad catalítica, concluyéndose que el segundo metal (diferente al oro) juega un papel esencial en la activación del oxígeno en las reacciones de oxidación en fase gas que han sido estudiadas.

Perspectivas sobre el estudio de la catálisis

Las eficiencias catalíticas y fotocatalíticas pudieran incrementarse si se perfeccionan las condiciones de síntesis de los materiales catalíticos, para optimizar los tamaños, las morfologías, las composiciones y la interacción me-



FIGURA 5. Reactores de doble pared utilizados para la síntesis de los catalizadores e imágenes de diferentes formulaciones de catalizadores tanto monometálicos como bimetálicos.

tal-sustrato. En algunos casos, los procesos de impresión 3D pudieran jugar un papel importante en el desarrollo de ciertos catalizadores con morfologías o formas específicas, que pudieran resultar favorables para incrementar la eficiencia de ciertos procesos.

Otra de las perspectivas dentro de las áreas de trabajo que se cultivan en el CCADET es el desarrollo de catalizadores multimetálicos, en los que se traten de modular funciones específicas, para favorecer características como actividad, selectividad o estabilidad, así como la realización de estudios *in situ* y *operando* para tratar de elucidar los sitios activos en los catalizadores heterogéneos multimetálicos.

La investigación en fotocatalisis para la remoción de contaminantes en agua y aire en el futuro cercano deberá perfilarse hacia el desarrollo de sistemas de semiconductores activos en el espectro de luz visible, para ser empleados en plantas solares. Una de las tendencias será el desarrollo de esquemas Z, acoplados a mediadores eficientes de electrones, tales como el grafeno reducido. También se observa interés en el desarrollo de catalizadores y fotocatalizadores basados en composites binarios o ternarios; en el caso de la fotocatalisis heterogénea, se prevé una incursión en la preparación de semiconductores funcionalizados con moléculas orgánicas, algunas de ellas pirrólicas. Una importante perspectiva en el tema del tratamiento de agua es el escalamiento de los sistemas fotocatalíticos, ello desde dos enfoques: a) degradación de contaminantes mediante fotocatalisis heterogénea en agua compleja, tal como el agua residual tratada o aguas naturales, y, b) tratamiento de volúmenes importantes de agua en sistemas de reacción continuos o semicontinuos.

Otra de las tendencias actuales es el desarrollo de sistemas eficientes que provoquen baja o nula contaminación ambiental; así, una de las perspectivas pudiera ser el desarrollo de nuevos procesos biocatalíticos, o sistemas en los que los catalizadores sean fácilmente recuperables, por ejemplo, a través de procesos magnéticos.

Sitios de Interés del CCADET relacionados con el tema

- Página institucional:
<www.ccadet.unam.mx>
- Laboratorio Universitario de Nanotecnología Ambiental:
<<http://www.luna.ccadet.unam.mx>>
- Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica:
<<http://www.luce.ccadet.unam.mx>>
- Grupo de Materiales y Nanotecnología
<<http://www.ccadet.unam.mx/secciones/depar/sub3/matena/nano.html>>
- Google maps
<goo.gl/Hru5pG>
- Facebook
<www.facebook.com/CCADET.mx>
- Twitter
<twitter.com/ccadetunam>