

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico-UNAM*

Rodolfo Zanella**

RESUMEN: En esta contribución se describen las actividades de investigación y desarrollo tecnológico que se realizan en áreas relacionadas con nanociencias y nanotecnología (NyN) en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se presenta una breve reseña histórica desde 1995, año en que se inició el desarrollo de las NyN en el Centro. Se describen las líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con las NyN en el CCADET, así como el número de académicos involucrados en dichas líneas de trabajo. Se reportan las colaboraciones y proyectos que se llevan a cabo en el área, la infraestructura y los laboratorios disponibles para realizar actividades de investigación, desarrollo e innovación en el área de las NyN, los instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados, así como las actividades de docencia y formación de recursos humanos que se realizan en colaboración con varios programas de posgrado de la UNAM pertenecientes al PNPC-CONACyT y con varias facultades de la Universidad. Finalmente, se describen los principales logros que han alcanzado los académicos del CCADET en el área de NyN además de las áreas de oportunidad y perspectivas de crecimiento que estos vislumbran en el corto y mediano plazo.

PALABRAS CLAVE: CCADET, líneas de investigación, proyectos de investigación, nanocatálisis, nanomateriales, nanotubos de carbono.

ABSTRACT: In this contribution the research and technological development activities in nanoscience and nanotechnology (N&N) performed at the Center for Applied Sciences and Technological Development (Spanish acronym: CCADET) of the National Autonomous University of Mexico are described. A brief historical review since 1995, when the development of N&N began at the Center, is presented. The lines of research, development and innovation on N&N at CCADET and the number of academic staff members working on these lines are described. Collaborations and projects undertaken in the area, as well as the infrastructure and laboratories available for research, development and innovation activities, are reported. Patents requested and granted, together with teaching and human resource training activities implemented in collaboration with several graduate programs recognized by PNPC-CONACyT and schools of the University, are also reviewed. Finally, the main achievements of the researchers of CCADET in N&N and the areas of opportunity and growth prospects in this field expected to arise at the Center in the short and medium term are described.

Recibido: 1 de marzo de 2016. Aceptado: 29 de abril de 2016.

* Se agradece afectuosamente a los doctores José M. Saniger Blesa, Mayo Villagrán Muniz, Elena Golovataya, América Vázquez Olmo, Ma. del Rocío Redón de la Fuente, Elsi V. Mejía Uriarte y Roberto Y. Sato Berru por la valiosa información proporcionada para la elaboración de este documento. Se agradece también al Sr. Francisco Cabiedes y a la Lic. Nora Reyes por las imágenes proporcionadas para ilustrar este trabajo.

** Director del CCADET. Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, A. P. 70-186, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México D. F. México. Correspondencia: (rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx), Tel. +52 (55) 5622 8601.

FIGURA 1. Entrada al edificio principal y del edificio de Laboratorios Universitarios del CCADET.

KEYWORDS: CCADET, lines of research, research projects, nanocatalysis, nanomaterials, carbon nanotubes

El Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) forma parte del Subsistema de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), teniendo como antecedente histórico al Centro de Instrumentos (CI). En 2002, el CI cambió su denominación a Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, teniendo como misión realizar investigación, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos, difusión y divulgación en los campos de instrumentación, micro y nanotecnologías, tecnologías de la información y educación en ciencia y tecnología, con un enfoque multidisciplinario, integrando las actividades de investigación y desarrollo tecnológico.

El CCADET cuenta actualmente con 111 académicos, de los cuales 20 realizan investigación o desarrollo tecnológico en áreas relacionadas con nanociencias y nanotecnología (NyN). De ellos 12 son investigadores y el resto son técnicos académicos. Los académicos que realizan investigación NyN pertenecen principalmente a los grupos de materiales y nanotecnología, fotofísica y películas delgadas, así como a los Laboratorios Universitarios de Nanotecnología Ambiental (LUNA) y de Caracterización Espectroscópica (LUCE), todos ellos pertenecientes al departamento de Tecnociencias, aunque hay integrantes de otros grupos de trabajo, principalmente del Departamento de Óptica y Microondas que también realizan investigación en dichas áreas.

Hacia 1995 se iniciaron los trabajos en el área de NyN en el entonces Laboratorio de Materiales y Sensores. Las líneas de investigación que se cultivaron inicialmente fueron la modificación por fluoración directa de zeolitas sintéticas, la síntesis de plantillas nanoestructuradas de alúmina porosa junto con el crecimiento de nanotubos de carbono y nanolambres metálicos en dichas plantillas; posteriormente a finales de la década de 1990 se comenzó una nueva línea de estudio sobre la obtención y estudio de óxidos de

metales de transición nanoestructurados y semiconductores magnéticos con aplicaciones en espintrónica. Más adelante durante los primeros años de la primera década del siglo XXI, se incorporaron al Laboratorio de Materiales y Sensores varios posdoctorantes, que fueron contratados posteriormente como investigadores, y se iniciaron nuevas líneas de trabajo: el estudio de nanomateriales de carbono, la síntesis y aplicación de nanocatalizadores heterogéneos, la síntesis y caracterización de dendrímeros y la amplificación de señales Raman de moléculas adsorbidas en sustratos nanoestructurados (SERS). Casi al mismo tiempo otros laboratorios comenzaron el estudio del autoensamble de nanoestructuras y nanopartículas luminiscentes conductoras y aislantes y el desarrollo de técnicas litográficas para soporte de nanoestructuras. En el año 2007, el Laboratorio de Materiales y Sensores se transformó en el Grupo de Materiales y Nanotecnología; hacia el año 2009 el grupo de Fotofísica y Películas Delgadas comenzó el estudio de la síntesis de nanoestructuras por ablación láser en líquido (plasma confinado) y también de sustratos nanoestructurados por irradiación de pulsos láser de alta potencia; y entre el año 2012 y 2013 se crearon los Laboratorios Universitarios de Caracterización Espectroscópica (LUCE) y de Nanotecnología Ambiental (LUNA), ambos con líneas de investigación y de desarrollo con un fuerte enfoque hacia el estudio de materiales nanoestructurados.

Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con la NyN

Las líneas de investigación en NyN que se cultivan en el CCADET son diversas y se pueden agrupar en tres grandes rubros:

1. Síntesis:
 - Síntesis de óxidos metálicos nanométricos puros, dopados y mixtos;
 - Depósito de nanopartículas metálicas y bimetálicas sobre óxidos reducibles y no reducibles por métodos en fase líquida;
 - Funcionalización covalente y no covalente de nanotubos de carbono, fullerenos, nanodiamantes y grafeno.
 - Autoensamble de nanoestructuras y nanopartículas luminiscentes conductoras y aislantes;
 - Obtención de óxidos de metales de transición, de materiales multifuncionales y de óxidos semiconductores por métodos coloidales y por mecanosíntesis;
 - Obtención y estudio de semiconductores magnéticos diluidos nanoestructurados;
 - Producción y funcionalización de nanopartículas metálicas por ablación láser en líquido (plasma confinado) y también sustratos nanoestructurados, por tratamiento térmico, o por irradiación de pulsos láser de alta potencia;

- Síntesis de nanopartículas cerivalentes del grupo del platino;
 - Síntesis de dendrímeros base triazina;
 - Obtención de polímeros multifuncionales tipo 'Miktoarm' para estudios de liberación de fármacos.
 - Litografía para soporte de nanoestructuras;
2. Caracterización:
- Estudio de materiales nanoestructurados por espectroscopía vibracional;
 - Estudio por espectroscopía molecular de interacciones molécula/sustrato nanoestructurado;
 - Espectroscopía óptica en condiciones extremas de presión y temperatura (-192 hasta 1,200°C; presión: 1 hasta 10 GPa);
 - Estudio de la interacción nanopartículas cerivalentes-molécula tipo dendrímica;
 - Estudio vibracional de moléculas adsorbidas en Nano Arquitecturas Metálicas (NAMEs);
 - Desarrollo de plataformas analíticas potenciadas por nanotecnología;
 - Excitaciones colectivas (plasmón, magnón, fonón) de materiales estructurados (en el rango nano y subnano);
 - Caracterización de nanoestructuras por técnicas acústicas y por microscopía electrónica;
 - Estudio de las propiedades ópticas lineales y no lineales de nanoestructuras.
3. Aplicaciones:
- Catálisis enfocada a reacciones de abatimiento de la contaminación atmosférica (oxidación de CO, reducción de NO, oxidación total de compuestos orgánicos volátiles);
 - Catálisis enfocada a la producción y purificación de hidrógeno (reacción de desplazamiento del gas de agua o *water gas shift* y ruptura fotocatalítica de la molécula de agua o *water splitting*) y oxidación preferencial de CO (PROX);
 - Degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos (contaminantes emergentes y convencionales) en aguas y suelos;
 - Fotosíntesis artificial;
 - Desarrollo de sustratos nanoestructurados para la amplificación de señales Raman de moléculas adsorbidas (SERS);
 - Desarrollo de sustratos nanoestructurados para la detección de marcadores biológicos.
 - Preparación de películas delgadas de nanopartículas para su uso en sensores químicos y biosensores.
 - Estudio espectroscópico *in-situ* de la interacción adsorbato/adsorbente en dispositivos de sensado molecular.

FIGURA 2. Equipo para evaluación catalítica de nanomateriales y su caracterización por técnicas espectroscópicas.



- Aplicaciones ópticas de los materiales sintetizados (sistemas sensores, prototipos de óptica integrada y dispositivos foto-voltaicos)

Algunos de los títulos de los proyectos con financiamiento externo que se desarrollan actualmente relacionados con el área de NyN son los siguientes:

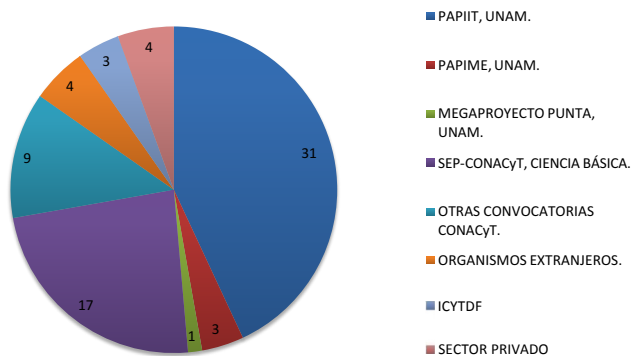
- Funcionalización química de nanocarbonos con compuestos amidados;
- Síntesis de nanopartículas y nanoestructuras mediante técnicas láser y su caracterización por métodos no convencionales;
- Estudio de la influencia del ambiente químico sobre la respuesta plasmónica de nanopartículas de Au;
- -Ensamblajes de nanopartículas de magnetita y oro;
- Estudio de interacciones molécula-sustrato en soportes nanoestructurados amplificadores de la respuesta espectroscópica;
- Desarrollo de plataformas analíticas potenciadas por nanotecnología para la detección selectiva y con sensibilidad amplificada de especies moleculares en matrices complejas;
- Síntesis y caracterización de nanopartículas de oro depositadas sobre diferentes óxidos metálicos para aplicaciones catalíticas;
- Degradación de Compuestos Orgánicos Volátiles utilizando catalizadores bimetalicos soportados en óxidos de cerio y de titanio;
- Modificación superficial de semiconductores con nanopartículas metálicas como fotocatalizadores para producción de hidrógeno y degradación de contaminantes orgánicos;
- Efecto de la alta presión sobre las nanoestructuras y nanopartículas luminiscentes;
- Obtención de óxidos multifuncionales nanoestructurados a partir de un método coloidal y por activación mecanoquímica;
- Síntesis de nanopartículas y nanoestructuras mediante técnicas láser y su caracterización por métodos no convencionales;
- Nanopartículas por ablación láser para aplicaciones biomédicas;

- Estudio de materiales compuestos magnetoeléctricos en multicapas con propiedades multiferroicas;
- Detección por espectroscopia Raman amplificada por superficie (SERS) de moléculas de interés biomédico;
- Autoensamble de nanocluster metálicos;
- Obtención de polímeros multifuncionales con diferentes cromóforos;
- Estudio del desempeño de moléculas dendríméricas para su empleo como acarreadores liberadores de fármacos. Síntesis, caracterización; estudios fisicoquímicos y evaluaciones biológicas.

Colaboraciones y proyectos

Los académicos que realizan investigación y desarrollo tecnológico en el área de NyN tiene establecidas colaboraciones, con diferente grado de formalidad, con entidades y dependencias de la UNAM como las facultades de Química, de Ciencias y la de Estudios Superiores de Iztacala, así como con los Institutos de Física, Ciencias Nucleares, de Geología, de Ingeniería, de Investigaciones en Materiales, de Biotecnología y de Energías Renovables y con el Centro de Nanociencias y Nanotecnología; también con centros de investigación e IES nacionales como el Centro de Investigaciones en Óptica (unidad Aguascalientes), el Instituto Potosino de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, el CINVESTAV, la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma de Morelos y la Universidad del Carmen de Campeche. Los vínculos internacionales son igualmente diversos: con el Instituto de Catálisis de la Academia de Ciencias de Bulgaria, el Instituto de las Tecnologías Físicas de Madrid, el Departamento de Química Inorgánica, Universidad Complutense de Madrid, la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid, el Laboratorio de Altas Presiones de la Facultad de Ciencia, Universidad de Cantabria, todos ellos en España; con el Laboratorio de Reactividad de Superficies de la Universidad Paris VI y el CNRS, con el Laboratorio de Química de Coordinación (Toulouse), con el CEA-LETI, MINATEC en Grenoble, y con el Laboratorio Aimé Cotton, Orsay todos de Francia, con la Academia de Ciencias de Ucrania, con la Universidad de Oxford, con la Universidad de New South Wales, la Universidad de Tasmania y la Universidad Deakin en Australia, con el Instituto Italiano de Tecnología (IIT) de Genova, y con la Universidad de Turín en Italia; así como con la Universidad Nacional de Trujillo y la Pontificia Universidad Católica, ambas de Perú; así como con el Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) de la Universidad Nacional del Litoral, el Centro de Investigaciones Ópticas y la Comisión Nacional de Energía Atómica, todos ellos en Argentina, con las Universidades de Montreal y McGill en Canadá, y con la Universidad Cristiana de Texas.

FIGURA 3. Origen del financiamiento de los proyectos relacionados con NyN en el CCADET.



PAPIIT – Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica
 PAPIIME Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza.

Desde finales de la década de 1990 se han desarrollado más de 70 proyectos de investigación o de desarrollo relacionados con NyN. Estos proyectos han sido financiados principalmente por organismos nacionales, tal y como se muestra en la figura 3. Entre los proyectos financiados por la UNAM destaca el “Programa Universitario de Nanotecnología Ambiental (PUNTA), liderado por el CCADET, en el que participaron más de una decena de entidades universitarias.

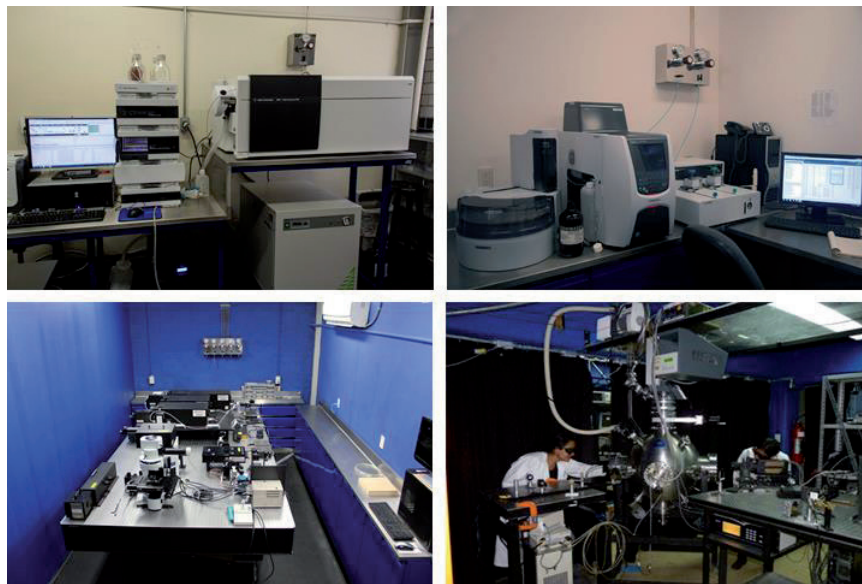
A lo dicho cabe agregar que varios académicos del CCADET han participado activamente en la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología del CONACyT.

Infraestructura

El Centro cuenta con varios laboratorios especializados para preparación de nanomateriales por métodos químicos y métodos físicos totalmente equipados, dotados con campanas de flujo laminar y de extracción, sondas de ultrasonido, rotavapores, hornos, estufas para secado a presión atmosférica y en vacío, centrifugas, medidores de pH, microbalanzas, reactores de doble pared, sistema de recirculación de agua para calentamiento de reactores, material de vidrio diverso, sistemas para tratamiento térmico de materiales con flujo de gas, sondas de ultrasonido de alta potencia para procesos de son química, entre otras facilidades, además de sistema de *spin coating* para depósito de fotorresinas, un laboratorio completo de microfabricación dentro de un cuarto limpio, un equipo para realizar ataques químicos y un generador de patrones desarrollado en el CCADET con resolución de 1µm, con la opción de litografía de dos fotones que puede escribir líneas de 100 nm.

Adicionalmente cuenta con equipos de caracterización como espectroscopías infrarroja, Raman, UV-VIS-NIR, fluorescencia, celdas de temperatura

FIGURA 4. Algunos equipamientos de los Laboratorios Universitarios LUNA y LUCE y del grupo de fotofísica y películas delgadas.



y atmósfera controlada para llevar a cabo experimentos *in situ* en equipo espectroscópicos, microscopio de fuerza atómica acoplado a un espectrómetro Raman, equipo de determinación de área superficial BET, y un sistema de microscopía de barrido por sonda. Además debe precisarse que dentro de la UNAM se tiene acceso a diferentes servicios centralizados de microscopía electrónica de transmisión, análisis químico, difracción de rayos X, espectroscopía de resonancia paramagnética electrónica, así como a la red de laboratorios universitarios de la UNAM. Cabe aclarar que la mayoría de los servicios que prestan estos laboratorios están disponibles para académicos de la UNAM, de Instituciones de Educación Superior y para el sector productivo nacional, público y privado, para apoyar sus proyectos de I+D y para la prestación de servicios tecnológicos de alta especialización.

Se cuenta también con equipos de análisis entre los que destacan un cromatógrafo de líquidos con detector de arreglo de diodos, acoplado a un detector de masas con triple cuadrupolo y con fuentes de ionización por *electrospray* (ESI) o ionización química a presión atmosférica (APCI), cromatógrafos de gases con detectores de ionización de flama, de termoconductividad y de masas, un analizador de carbono orgánico e inorgánico y nitrógeno total en muestras líquidas y sólidas, un extractor con fluidos supercríticos (o extractor acelerado con disolventes, ASE), sistemas de microrreacción en fase gas provistos de reactores de cuarzo acoplados a unidades de cromatografía de gases y espectrometría de masas, sistemas de fotorreacción para degradación de compuestos orgánicos (fármacos, plaguicidas, pesticidas,

plastificantes) e inorgánicos presentes en aguas, un sistema de evaluación fotocatalítica de nanocatalizadores para producción de hidrógeno mediante la ruptura de la molécula de agua y un sistema catalítico para fotosíntesis artificial.

Asimismo, se cuenta con otros equipos como láseres con pulsos de ns, para producir nanopartículas y nanoestructuras, técnicas ópticas de caracterización como fotografía rápida (2.2 cuadros por microsegundo); espectroscopías ópticas de emisión y absorción, con resolución temporal de ns, speckle dinámico, interferometría, sombras y deflectometría, técnicas acústicas, principalmente para el análisis de ondas acústicas generadas por los materiales mediante el efecto fotoacústico, cámaras de vacío equipadas con control de flujo de gases y horno, para depósito por ablación láser y pulverización catódica con fuente de RF, una celda electroquímica para fabricación de silicio poroso luminiscente y estructuras fotónicas de silicio poroso, osiloscopios, monocromadores, tubos fotomultiplicadores, mesas ópticas, entre otros.

Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados

En el rubro de propiedad intelectual, al CCADET le han sido otorgadas dos patentes en México en el área de NyN, la primera está relacionada con un proceso de obtención de zeolita ZSM5 a partir de cáscara de arroz, cuyos inventores son N. A. Sánchez Flores, G. Pacheco Malagón, J. Fripiat, J. M. Saniger Blesa, con número de título 298632. La segunda está relacionada con el proceso de preparación de una nanoaleación soportada y su empleo como catalizador, cuyos inventores son R. Zanella, J. M. Saniger y J. G. Pérez, el número de título de esta patente es el 329726. Los desarrollos protegidos en dichas patentes tienen un uso potencial en la adsorción y/o eliminación de contaminantes ambientales como el monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno, contaminantes orgánicos y metales.

Asimismo, existen dos solicitudes más presentadas ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI), en las que participan académicos del CCADET, la primera relacionada con un método para la transformación genética de células de plantas en suspensión mediante ADN plasmídico acoplado a nanotubos de carbono funcionalizados con aminas, con el fin de lograr la introducción de material genético expresado a partir de la introducción de un plásmido de expresión, para el silenciamiento de genes, localizar nuevas proteínas y llevar a cabo su sobreexpresión; mientras que la segunda está relacionada con un procedimiento para la extracción y análisis de materiales y equipo para ello, en esta innovación se propone una nueva técnica de caracterización de nanomateriales para la determinación de la composición química de muestras por medio del uso de microscopias de sonda (STM o AFM) en diferentes medios: vacío, líquidos y gases.

Docencia y formación de recursos humanos

Una gran mayoría de los académicos, tanto investigadores como técnicos académicos que se desempeñan en el área de NyN, están claramente comprometidos con labores de docencia y formación de recursos humanos, ya sea impartiendo clases frente a grupo, dirigiendo tesis de grado y posgrado, participando en comités tutorales y jurados, atendiendo prácticas profesionales y servicios sociales, brindando asesorías, participando en la creación y actualización de planes de estudio y en la elaboración y aplicación de exámenes de admisión, entre otras actividades.

La mayor parte de los cursos a nivel licenciatura se imparten en las facultades de Ciencias y Química, que si bien no cuentan con la carrera de nanotecnología, sí imparten materias y carreras relacionadas con el área principalmente física, química e ingeniería química.

En lo que se refiere a estudios de posgrado, el CCADET es entidad participante de los programas de posgrado en ingeniería, ciencia e ingeniería de materiales y ciencias físicas, además de que diversos académicos del Centro participan en el posgrado en Ciencias Químicas. La formación de recursos humanos en el área de NyN y áreas afines se ve reflejado en la conclusión de aproximadamente 65 tesis de licenciatura, 45 tesis de maestría y 15 tesis de doctorado.

Principales logros en el área de NyN

Los principales logros del CCADET en el área de NyN se pueden resumir de la siguiente forma:

1. La formación de varios grupo de trabajo consolidados, relacionados con el estudio de la síntesis, la caracterización y las aplicaciones de materiales catalíticos nanoestructurados, así como la creación de dos laboratorios universitarios relacionados con el estudio de las propiedades y aplicaciones de dichos materiales,¹ en los que se promueve el trabajo multi e interdisciplinario y en los que cada investigador contribuye con los conocimientos de su especialidad.

2. La integración de un equipo multidisciplinario en la UNAM para el desarrollo de nanocatalizadores ambientales (el previamente mencionado proyecto PUNTA). En éste se estudió la síntesis razonada de nuevos catalizadores heterogéneos por métodos químicos en fase líquida y el estudio a profundidad 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. Se desarrollaron catalizadores eficientes, estables y durables en varias reacciones de

1 El Laboratorio Universitario de Nanotecnología Ambiental (LUNA) y el Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica (LUCE)

abatimiento de la contaminación atmosférica, producción y purificación de hidrógeno, degradación de contaminantes orgánicos presentes en las aguas de los efluentes industriales, así como en reacciones de química fina, todas ellas de interés estratégico para el país, utilizando métodos de síntesis sencillos, eficientes y escalables industrialmente. Los resultados específicos en el área de síntesis de catalizadores heterogéneos basados en nanopartículas de oro y de paladio soportadas en óxidos, con aplicaciones a nivel ambiental, industrial y energético han tenido impacto en la comunidad científica nacional e internacional.

3. En la línea de materiales nanoestructurados de carbono, se han logrado desarrollar estrategias ecológicamente amigables para la fabricación de una gama amplia de nanomateriales de carbono híbridos. Se ha logrado también la obtención de métodos novedosos para la modificación de nanomateriales de carbono que facilitan su manipulación y aplicación, así como modular sus propiedades químicas, electrónicas, mecánicas, térmicas, entre otras. Otro logro ha sido la obtención de películas entrecruzadas de fullereno C_{60} que son usadas como plataformas para el depósito de nanopartículas metálicas. Estos materiales híbridos tienen aplicaciones en nanocatálisis, en el desarrollo de dispositivos fotoelectrónicos, en la inmovilización de moléculas de actividad biológica para desarrollo de biosensores. Se ha logrado modular las propiedades físicoquímicas de nanotubos de carbono, aumentando su dispersibilidad, y biocompatibilidad, obteniendo soportes para inmovilización de los compuestos biológicos y farmacéuticos sobre la superficie de los nanotubos de carbono.

4. En lo referente a la síntesis de materiales, se han desarrollado plantillas nanoestructuradas basadas en alúmina anódica porosa, metodologías no convencionales para la preparación de nanopartículas metálicas, soportes nanoestructurados (nanopartículas metálicas) con formas y tamaños controlados para aplicaciones en SERS, así como el desarrollo de un método de síntesis novedoso, de bajo costo para la obtención de óxidos metálicos multifuncionales nanoestructurados, en el que se reduce considerablemente el uso de disolventes, la síntesis de nanoestructuras luminiscentes y la implementación de técnicas para la obtención de nanoestructuras como la ablación láser en líquido, tratamiento térmico de películas delgadas con láser y el crecimiento de películas delgadas por *sputtering*, evaporación y *espray* pirolisis ultrasónico utilizando como variante el PLD (*plasma laser deposition*).

5. Se ha logrado la implementación de técnicas basadas en fotoacústica pulsada para el estudio de nanoestructuras y sus procesos de formación y el desarrollo de materiales con características ópticas adecuadas para aplicaciones en biomedicina

6. Adicionalmente se han impulsado diversas actividades de extensión universitaria, incluyendo las actividades realizadas en el marco de nano-UNAM, un consorcio académico integrado por el CCADET, el Centro de

Nanociencia y Nanotecnología y el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, dedicado a impulsar el diálogo interdisciplinario de alta calidad sobre los avances, promesas e implicaciones de la NyN con el objeto de enriquecer la toma de decisiones nacionales. Desde 2008 realiza el Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencias y Nanotecnología y publica *MundoNano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, una publicación de divulgación científica de alto nivel con proyección en la región de Iberoamérica (<http://www.mundonano.unam.mx>)

Perspectivas sobre el estudio de la NyN

Los académicos del CCADET que trabajan en el área de NyN consideran que las principales perspectivas de la NyN pueden resumirse del siguiente modo:

- Es necesario mejorar las metodologías de depósito de nanopartículas sobre diferentes sustratos, con el fin de obtener una dispersión homogénea de las nanopartículas, lo que puede entenderse como controlar y fijar el tamaño y forma de las nanopartículas o nanoestructuras, de manera que todos o la mayoría de los sitios activos sean equivalentes estructural y funcionalmente. De esta manera se reforzaría la reproducibilidad y confiabilidad de los nanosistemas, lo cual supondría un gran paso para hacer efectivas un gran número de aplicaciones en las áreas de salud, medio ambiente y energía.
- La comprensión a profundidad de los mecanismos que rigen las interacciones sustrato/nanopartícula/molécula en un sistema nanoestructurado en condiciones *in situ* y operando, para optimizar su desempeño en aplicaciones específicas. Se requiere reforzar los estudios básicos en esta dirección, poniendo especial atención en conjuntar estudios experimentales con modelado computacional.
- Es fundamental tomar en cuenta la corriente de pensamiento cada vez más importante que señala, especialmente en catálisis y SERS, que los sitios de mayor actividad no son las nanopartículas sino estructuras de tamaño subnanométrico (clústers) e incluso átomos individuales. Por tanto, es necesario dirigir esfuerzos para continuar avanzando en la reducción de los tamaños de las partículas lo que deberá acompañarse necesariamente de su estabilización en soportes *ad hoc*. Ello requerirá probablemente generar nuevos enfoques de los procesos de preparación de las partículas, así como propuestas de estrategias adicionales para su estabilización en los soportes correspondientes y considerar el empleo de soportes híbridos.
- La obtención de nuevos nanomateriales de carbono con propiedades combinadas (híbridos) y la relación entre la estructura y sus propiedades físicoquímicas, así como el desarrollo de nuevos métodos

de caracterización y manipulación en el laboratorio de dichos nanomateriales. Algunos de estos materiales híbridos con propiedades electrónicas y estructurales podrían permitir aplicaciones versátiles como la catálisis, aplicaciones en óptica y electrónica, para sensores biomédicos se trata de los sistemas poliaminas macrocíclicas (por ejemplo porfirinas) con nanomateriales de carbono. Las porfirinas sirven como antenas captadoras de luz en el centro de la reacción fotosintética, por lo que la modificación de nanomateriales de carbono con sistemas antena que absorban en el rango de frecuencias del espectro solar podría mejorar la absorción de luz y así optimizar los materiales para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos no convencionales.

- La reducción a tamaños nanométricos de materiales semiconductores, semiconductores magnéticos diluidos y multiferróicos, presenta nuevos retos en cuanto a la obtención de fases únicas, así como de nuevos comportamientos, propiedades y aplicaciones. Así, la investigación ya sea desde la perspectiva de la ciencia básica, o desde el punto de vista del desarrollo de nuevos dispositivos con aplicaciones en spintrónica, hipertermia magnética, o bien en nuevos campos como la fototrónica, piezotrónica y piezofototrónica resultan sumamente interesantes.
- El diseño de nuevos nanomateriales fotocatalíticos híbridos, capaces de promover la fotosíntesis artificial, es decir, las reacciones simultáneas de ruptura de la molécula de agua (para generar hidrógeno y oxígeno) y la reducción de CO_2 con el hidrógeno producido por la primer reacción, para generar alcoholes o hidrocarburos ligeros, que luego pueden ser utilizados como combustibles.
- Es fundamental también estudiar los efectos adversos, sobre todo los toxicológicos, que pudieran derivarse del uso de dichos materiales al introducirlos al medio ambiente, sobretodo en el agua, el suelo y el aire, así como los efectos de su posible acumulación en los tejidos y órganos de los seres vivos.
- Otro tema importante que debe ser abordado de manera seria e informada son los aspectos éticos, sociales y legales que implica el uso de los nanomateriales en las actividades cotidianas de las personas, de tal forma que el uso de dicha tecnología sea aceptada y asimilada por la población en general.

Sitios de interés relacionados con CCADET

- Página institucional: <<http://www.ccadet.unam.mx>>.
- Google maps: <<http://goo.gl/Hru5pG>>.
- Facebook: <<http://www.facebook.com/CCADET.mx>>.
- Twitter: <<http://twitter.com/ccadetunam>>.

- Laboratorio Universitario de Nanotecnología Ambiental:
<<http://www.luna.ccadet.unam.mx>>.
- Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica:
<<http://www.luce.ccadet.unam.mx>>.