

Panorama de la investigación en catálisis en la Facultad de Química de la UNAM*

Aída Gutiérrez Alejandre**

RESUMEN: Se presenta un panorama de la investigación desarrollada en el área de catálisis en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (FQ-UNAM). Primero se da una breve descripción de la conformación de la FQ y los diferentes programas de posgrado en los que participa y aquellos involucrados en catálisis, para luego pasar a las líneas de investigación y proyectos por departamento académico. Posteriormente, doy a conocer la infraestructura disponible, fuentes de financiamiento, colaboración y proyectos para concluir con los logros y perspectivas en el área de catálisis.

PALABRAS CLAVE: Facultad de Química, UNAM, catálisis, catalizadores, nanomateriales.

ABSTRACT: An overview of the catalysis research developed in the Faculty of Chemistry of the National Autonomous University of Mexico (Spanish acronym: FQ-UNAM) is presented. Brief descriptions of the Faculty organizational structure, postgraduate programs in which it participates and especially those related with catalysis are given as well as the research lines and projects by academic department. Subsequently the available infrastructure, financial support, collaboration and projects are presented to conclude with the achievements and perspectives in the catalysis field.

KEYWORDS: Faculty of Chemistry, UNAM, catalysis, catalysts, nanomaterials.

En 2016 se cumplió el primer centenario de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, fundada por Decreto presidencial del General Venustiano Carranza el 23 de septiembre de 1916 con el nombre de Escuela Nacional de Química Industrial, a partir de 1965 toma el nombre de Facultad de Química (FQ) encontrándose a la vanguardia de las instituciones académicas afines del país. En esta institución se ha formado a varias generaciones de profesionales de la química a nivel licenciatura y posgrado, 50,000 egresados, 700 alumnos de maestría y 300 con doctorado, egresados líderes que han contribuido en diversos ámbitos de la docencia, investigación e industria.

Recibido: 13 de febrero de 2017. Aceptado: 2 de marzo de 2017.

* Se agradece a la Dra. Itzel Guerrero Ríos por la información proporcionada para la escritura de este artículo.

** Unidad de Investigación en Catálisis, Depto. de Ingeniería Química, Facultad de Química, UNAM, Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, Colonia Copilco Coyoacán, C.P. 04510, Delegación Coyoacán. Cd. Mx., México. Tel: +52 (55) 5622 5255. Correspondencia: (aidag@unam.mx).

La misión de la FQ es “formar profesionales de excelencia con amplias capacidades en ciencia y tecnología químicas, comprometidos con aportar valor a la sociedad, en el marco del desarrollo sustentable del país” y su visión es “ser reconocida como la Facultad líder en la enseñanza de la Química por la formación de profesionales y la generación de conocimiento, nuevas tecnologías y patentes, con el propósito de contribuir en los planes de desarrollo del país”. En el cumplimiento de su misión, la labor académica que ha llevado a cabo la FQ le ha otorgado prestigio y reconocimiento internacional obteniendo premios internacionales como el Nobel de Química y el Príncipe de Asturias por egresados distinguidos.

La FQ está conformada por ocho edificios en la Ciudad de México (A, B, C, D, E, F, G y H), seis de ellos (A, B, C, D, E, F y H) ubicados dentro del campus universitario y un conjunto externo: Edificio G mejor conocido como la Antigua Escuela de Tacuba, ubicado en Mar del Norte núm. 5, Colonia San Álvaro Tacuba, en la Delegación Azcapotzalco, c.p. 09010 (figura 1). También se cuenta con una estación foránea, la Unidad de Química en Sisal Mérida, Yucatán.

La labor docente y de investigación se desarrolla en doce departamentos académicos: Alimentos y Biotecnología, Biología, Bioquímica, Farmacia, Física y Química Teórica, Fisicoquímica, Ingeniería Metalúrgica, Ingeniería Química, Matemáticas, Química Analítica, Química Inorgánica y Nuclear y Química Orgánica. Estos departamentos son atendidos por 1,110 académicos distribuidos así: 235 profesores de carrera de tiempo completo, 153 técnicos académicos y 722 profesores de asignatura.

Actualmente, se imparten 5 licenciaturas, todas acreditadas por organismos externos: química de alimentos, ingeniería química, ingeniería química metalúrgica, química y química farmacéutico biológica. A nivel licenciatura todas las carreras dentro de su mapa curricular en el tercer semestre, incluyen un curso de equilibrio y cinética donde se acerca al alumno a los conceptos de catálisis homogénea, heterogénea y enzimática. Solamente el plan de estudios de la carrera de ingeniería química ofrece un paquete terminal de materias optativas disciplinarias compuesto de 3 cursos: catálisis I, catálisis II y laboratorio de catálisis.

Posgrado e investigación

En los primeros 50 años del posgrado, celebrados en 2015, se ha consolidado una planta académica de primer nivel, ésta cuenta con 179 profesores adscritos al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), de los cuales 11.2 % son candidatos, 47.5 % nivel I, 24% nivel II, y, 17.3% nivel III. Además de dos profesoras eméritas en el SNI. Durante estos años se ha fortalecido la interdisciplina y la interacción entre los programas que conforman su oferta académica y ha brindado una mayor opción de líneas de investigación de frontera, infraestructura y servicios de excelencia. También se han desarrollado alrededor de 600 tesis de licenciatura y posgrado en las diferentes líneas de investigación rela-



Figura 1. Fachada principal de los edificios que conforman la Facultad de Química-UNAM en la Ciudad de México. Imágenes: <www.quimica.unam.mx>.

cionadas con la catálisis, contribuyendo de manera importante a la formación de recursos humanos altamente especializados. La productividad en publicaciones internacionales registradas desde 1990 a la fecha de acuerdo con la base de datos Scopus es de 286 artículos.

La FQ participa en nueve programas de posgrado:

1. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas.
2. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Bioquímicas.

3. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Química).
4. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.
5. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias del Mar y Limnología.
6. Programa de Maestría y Doctorado en Investigación Clínica Experimental en Salud, campo Bioquímica Clínica.
7. Programa de Maestría en Docencia para la Educación Media Superior.
8. Programa en Ciencias de la Administración (Maestrías en Administración Industrial y en Alta Dirección).
9. Especialización en Bioquímica Clínica.

Los primeros seis programas de posgrado cuentan con el reconocimiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) formando parte del Programa Nacional de Posgrados de Calidad, pues cumplen con los más altos estándares de calidad y pertinencia. Lo posgrados relacionados con el área de catálisis son: maestría y doctorado en ingeniería (ingeniería química, disciplina catálisis, ingeniería de reacciones y biocatálisis), ciencias químicas, ciencia e ingeniería de materiales y ciencias bioquímicas.

Estos programas cuentan con diversas líneas de investigación como: hidrot ratamiento, desulfuración oxidativa, mejoramiento de crudos pesados, biocombustibles, desarrollo de procesos catalíticos, materiales nanoestructurados, catalizadores para celdas de combustible, catálisis enzimática, catálisis biomimética, desarrollo de procesos biocatalíticos y fotocatalíticos.

A continuación se presentan algunas líneas de investigación, por departamento académico, que se desarrollan en la FQ:

Departamento de Ingeniería Química

Unidad de Investigación en Catálisis (UNICAT)

- Síntesis, caracterización y evaluación de catalizadores para hidrodeshulfuración profunda de diesel y gasolina. Dr. Jorge Ramírez Solís (jrs@unam.mx).
- Desarrollo de catalizadores para el proceso de Desulfuración Oxidativa (ODS) con el objeto de disminuir el contenido de azufre en combustibles fósiles. Dr. Luis Cedeño Caero (caero@unam.mx).
- Síntesis, caracterización y evaluación de materiales catalíticos para hidrot ratamiento. Materiales catalíticos con acidez controlada para la producción de etileno a partir de bioetanol como precursor en la producción de biodiesel y bioturbosina. Dra. Aída Gutiérrez Alejandre (aidag@unam.mx).
- Síntesis, caracterización y evaluación de materiales catalíticos para hidrodeshulfuración. Caracterización espectroscópica de catalizadores mediante el estudio de propiedades electrónicas y análisis IR de

moléculas sonda adsorbidas. Dra. Perla Y. Castillo Villalón (perla@unam.mx).

- Desarrollo de catalizadores para el mejoramiento de crudos pesados. Dr. Rogelio Cuevas García (cuevas@unam.mx).
- Diseño y síntesis de materiales novedosos como catalizadores para la transformación y/o captura de CO₂ proveniente de biogás. Investigación en desarrollo por todos los integrantes de la UNICAT.

Laboratorio de nanocatálisis

- Síntesis y caracterización de materiales nanoestructurados y de nanopartículas soportadas para su aplicación en catálisis. Desarrollo de nuevos catalizadores para la hidrodesulfuración profunda de diesel e hidrogenación de aromáticos. Desarrollo de catalizadores selectivos para la hidrodesulfuración de gasolina. Desarrollo de nuevos catalizadores heterogéneos para la producción de biodiesel. Dra. Tatiana E. Klimova Berestneva (klimova@unam.mx).

Laboratorio de Desarrollo de Procesos Catalíticos

- Desarrollo de procesos catalíticos. El desarrollo de los procesos consta generalmente de las siguientes etapas: síntesis y establecimiento de método de preparación de catalizadores sólidos, establecimiento de condiciones de reacción catalítica y establecimiento de tamaño y forma del reactor idóneo al proceso de transformación. Dr. Martín Hernández Luna (martinhl@unam.mx).

Laboratorio de electroquímica

- Desarrollo de procesos de electrólisis. Diagnóstico de procesos de electrodeposición de cobre en la industria minera. Síntesis y evaluación de catalizadores para celdas de combustible de metanol. Síntesis y caracterización de polímeros electro-conductores. Dr Pedro Roquero Tejeda (roquero1@yahoo.com).

Departamento de Química Analítica

- Desarrollo de materiales electrocatalíticos para aplicaciones de celdas de combustible; oxidación de moléculas orgánicas y reducción de oxígeno. Evaluación en la celda de combustible. Dra. Ana Lilia Ocampo Flores (analof@gmail.com).

Departamento de Química Inorgánica y Nuclear

- Compuestos organometálicos para la activación de moléculas de interés en la industria (petrolera, textil y farmacéutica), lo cual habitualmente implica la activación de enlaces muy resistentes, entre los

que se destacan: C-C, C-H, C-S, C-N, C-Cl y C-F. Aplicación de compuestos organometálicos en síntesis orgánica y en la formación de nuevos materiales nanoestructurados. Estudio e implementación de sistemas catalíticos en medio homogéneo y supercrítico para la eliminación de contaminantes atmosféricos. Dr. Juventino García Alejandro (juvent@unam.mx).

- Diseño, síntesis y caracterización de compuestos de coordinación con metales de transición o lantánidos, buscando propiedades específicas, ya sean espectroscópicas (luminiscencia) o catalíticas como sistemas biomiméticos de enzimas. Dra. Silvia Castillo Blum (blum@unam.mx).
- Materiales nanoestructurados para la degradación de contaminantes. Dr. David Díaz (david@unam.mx).
- Desarrollo de “hidrolasas artificiales”, sus aspectos mecanísticos, nuevos enfoques biomiméticos y su actividad catalítica en la ruptura de ésteres y fosfoésteres incluyendo ADN y ARN y péptidos en disolución acuosa. Dr. Anatoly Yatsimirski (anatoli@unam.mx).
- Catálisis biomimética: se diseñan y caracterizan compuestos de coordinación de cobre, principalmente dinucleares, como catalizadores en reacciones de oxidación, en las que el oxidante es el oxígeno atmosférico. Dra. Laura Gasque (gasquel@unam.mx).
- Catálisis biomimética. Diseño, estudio y aplicaciones de compuestos de coordinación de metales de transición y lantánidos como modelos de metaloenzimas capaces de hidrolizar sustratos de interés biológico y ambiental. Dra. Paola Gómez Tagle Chávez (pao@unam.mx).
- Propiedades electrónicas de metaloproteínas, cinética y mecanismos de óxidoreducción y de sustitución. Tanto en sistemas biomiméticos como en metaloenzimas aisladas, específicamente con centros de hierro. Dra. Martha Sosa Torres (mest@unam.mx).
- Diseño y síntesis de compuestos de coordinación como modelos biomiméticos de metaloenzimas que permitan comprender el papel de sus sitios activos. Dra. Nora Barba Behrens (norah@unam.mx).

Laboratorio de Catálisis Materiales Avanzados y Nanotecnología (CATAMARAN)

- Implementación de materiales funcionales para captura y transformación de dióxido de carbono. Dentro de los materiales que se estudian actualmente se incluyen materiales híbridos de Clase 1 para captura de dióxido de carbono, conformados por un soporte inorgánico (sílice micro y mesoporosa) con polietilenimina (PEI) soportada con la capacidad de activar dióxido de carbono a carbamatos. Los carbamatos se transforman posteriormente empleando catalizadores homogéneos de alta abundancia (Fe, Co, Cu) y ligantes nitrogenados en reacciones de carboxilación y de transferencia de hidróge-

no para obtener moléculas con un alto interés comercial (ácidos carboxílicos, formiatos, carbonatos cíclicos, policarbonatos). Dra. Itzel Guerrero Ríos (itzelgr@unam.mx).

Departamento de Alimentos y Biotecnología

- Efectos ambientales en reacciones enzimáticas en medios no acuosos y fluidos comprimidos; desarrollo de procesos biocatalíticos; procesamiento de residuos industriales. Dr. Eduardo Bárzana García (ebg@unam.mx).
- Biocatálisis. Selección de microorganismos con actividades hidrolíticas de interés tecnológico. Inmovilización de enzimas para mejorar su estabilidad y resolver el problema ulterior de su eliminación del producto final. Dra. Carmina Montiel Pacheco (carmina@unam.mx).

Departamento de Química Orgánica

- Desarrollo de energías limpias. Diseño de sistemas sustentables basados en nanoestructuras de diversas morfologías y niveles (desde la nanoescala hasta la mesoescala) mediante el control de las interacciones intermoleculares (de corto o largo alcance) y el diseño molecular, y su correlación con las propiedades aprovechables en términos de funcionalidad. Dra. Martha V. Escárcega Bobadilla (mesbo@unam.mx).

Infraestructura

Un gran apoyo para el desarrollo de los proyectos de investigación que se llevan a cabo en la Facultad de Química es la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación e Industria (USAII), inaugurada en 1994, con el apoyo financiero del Programa UNAM-BID y el convenio firmado con el CONACYT. Inicialmente, se ubicó en el Edificio B y fue reubicada en 2015 con la inauguración del Edificio Mario Molina (Edificio H) donde actualmente ofrece servicios analíticos especializados de calidad. Esta unidad está certificada por el Instituto Mexicano de Normalización A.C. con la NMX-CC-9001-IMNC-2008, y también acreditada por parte de la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. con la NMX-EC-17025-IMNC-2006 ISO/IEC 17025:2005.

Las técnicas analíticas a las que se tiene acceso en la USAII son:

- *Espectroscopía atómica*. Espectrofotómetro de absorción atómica SpectraAA 220 Marca Varian. Espectrómetro ICP-Ms Aurora M90, Marca Bruker. Espectrómetro de Emisión Atómica MP-AES 420, Marca Agilent. ICP-Ms Nexion 350, Marca Pekin Elmer.
- *Análisis elemental*. Analizador elemental Perkin Elmer 2400 para CHNS. Cistina como compuesto de calibración.

- *Análisis térmico*. DSC1 Mettler Toledo, con una precisión de $\pm 0,02$ °C, exactitud de ± 0.2 °C, intervalo de calentamiento de -150 a 700 °C. TGA4000 Perkin Elmer, con una precisión de $\pm 0,8$ °C, exactitud ± 1 °C, intervalo de calentamiento de temperatura ambiente a 1000 °C.
- *Análisis PDQuest*. El densitómetro calibrado GS-900 proporciona una calibración automática con gran precisión y puede digitalizar imágenes de alta calidad.
- *Cromatografía de líquidos-espectrometría de masas (sistemas acoplados HPLC/EM Y UPLC/EM)*. Cromatógrafo de líquidos de alta resolución modelo 1200 acoplado a un espectrómetro de masas triple cuadrupolo modelo 6410 ambos marca Agilent Technologies.
- *Difracción de rayos X de monocristal*. Difractómetro de rayos X de monocristal Oxford Gemini ($\lambda\text{MoK}\alpha = 0.71073$ o $\lambda\text{CuK}\alpha = 1.5418\text{\AA}$) con detector de área de 135 mm Atlas, equipado con un sistema criogénico Cryojet.
- *Difracción de rayos X de polvos*. Difractómetro de rayos X, Modelo D8 Advance Davinvi, configuración Theta theta marca Bruker AXS. Tubos de rayos X cerámicos de Cu y de Mo. Filtro de Ni para radiación de Cu y filtro de Zr para radiación de Mo. Tamaño mínimo de paso y avance mínimo de paso: $0,0001^\circ$. Velocidad de barrido en modo continuo: $0.001^\circ/\text{min}$ o menor.
- *Identificación de sustancias biológicas y bioquímicas por HPLC/DAD/ELSD*. Equipo de HPLC, Infinity 1260 de Agilent.
- *Electroforesis 1D y 2D*. Unidad de isoelectroenfoque Protean i12 IEF cell (BIO-RAD), para la focalización isoelectrónica en tiras de 7 , 11 y 17 cm de diferentes rangos de pH, principalmente $3-10$ no lineal, $3-10$ lineal, $7-9$ lineal y $4-7$ lineal. Unidad de cámaras de electroforesis PROTEAN II xi Cell para correr geles de acrilamida de 7 , 11 y 17 cm.
- *Espectroscopía de IR, UV-visible*. Espectrofotómetro de FTIR/FIR Spectrum 400 de Perkin-Elmer, Rango: $4000-400$ cm^{-1} y de $600-50$ cm^{-1} . Espectrofotómetro de FTIR Spectrum RXI de Perkin-Elmer. Rango: 4000 a 400 cm^{-1} . Espectrofotómetro de UV/visible modelo lambda 2, Perkin Elmer. Rango: $200-1100$ nm.
- *Espectrometría de masas (sistemas acoplados CG/EM)*. Espectrómetro de masas marca Thermo, modelo DFS (doble sector) con entrada para sonda directa y acoplado a cromatógrafo de gases marca Thermo, modelo Trace GC Ultra (columna capilar DB5). Espectrómetro de masas marca LECO, modelo Pegasus 4D con analizador másico TOF (tiempo de vuelo) y ionización electrónica, acoplado a cromatógrafo de gases marca Agilent, modelo 6890N.
- *Identificación de proteínas por huella peptídica*. Espectrómetro de masas modelo Synapt G2S, con tiempo de vuelo acoplado a un cromatógrafo de líquidos modelo nanoACQUITY, ambos marca Waters.
- *Microscopía confocal*. Microscopio Olympus FV1000. Láseres diodos:

405nm, 473nm, 559nm y 635nm. Espectro de emisión de 400-700nm.

- Microscopía electrónica (transmisión y barrido. Barrido: JEOL JSM-5900-LV. Resolución: 3.0 nm. Microanálisis (EDS): Oxford ISIS. Bajo vacío: 10 a 270 Pa. Transmisión: JEOL JEM-2010. Resolución: 0.23 nm-0.14 nm. Microanálisis (EDS): Oxford ISIS.
- *Microscopía óptica de campo claro y con fluorescencia.* Microscopio vertical Olympus BX51. Microscopio estereoscópico Olympus SZX7.
- *Resonancia magnética nuclear.* Espectrómetro de RMN de 9.4 T Marca Varian Modelo VNMRS. Sonda Broad Band para RMN de sólidos (4mm). Espectrómetro de RMN de 9.4 T Marca Varian Modelo MR.
- *Resonancia paramagnética electrónica.* Espectrómetro de RPE Elexsys E500 (Bruker).
- *Tamaño de partícula por difracción láser.* Analizador Mastersizer 2000, Malvern Instruments, equipado con un módulo de dispersión Hydro (2000MU, 2000S) y vía seca (Scirocco 2000).

Además del apoyo en técnicas de análisis especializados (figura 2), los diferentes laboratorios que realizan actividades en catálisis cuentan con la infraestructura necesaria para la síntesis de catalizadores como rotavapores, estufas, balanzas, muflas, bombas rotativas y de membrana. Para las pruebas catalíticas se tienen sistemas de reacción a presión atmosférica y a alta presión en sistemas continuos y discontinuos (reactores Parr), autoclaves para reacciones solvotermal, baños enfriadores con recirculación, cromatógrafos

FIGURA 2. Equipos especializados que se encuentran en la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación e Industria (USAII).



de gases y/o líquidos para análisis de productos de reacción, espectrómetros de masas para identificación de productos. Algunos de los grupos de investigación también tienen a su disposición equipos de fisiorción de nitrógeno para determinación de propiedades texturales e infraestructura para caracterización de materiales por espectroscopías de UV-vis, FT-IR y ATR. Líneas de alto vacío para estudios de superficies en atmósfera controlada. Se tiene acceso a todas las bibliotecas especializadas de la UNAM y al servicio por red de búsquedas bibliográficas internacionales. Se cuenta con el personal técnico de apoyo necesario, además de talleres de soplado de vidrio, talleres mecánicos y electrónicos.

Financiamiento, colaboraciones y proyectos

El fortalecimiento y consolidación de la investigación en catálisis en la FQ se ha logrado a través del apoyo financiero institucional, de diferentes organismos gubernamentales y de la vinculación con la industria. Cabe también destacar los convenios de colaboración de los investigadores con diferentes grupos tanto a nivel nacional como internacional. A continuación se hará un resumen de colaboración y apoyo financiero en los últimos años.

Apoyo financiero

Programas institucionales: Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación (PAIP) proveniente de recursos extraordinarios de la FQ; Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico en la UNAM (DGAPA-UNAM).

Programas de organismos gubernamentales e industria: Los recursos financieros mayoritariamente se han obtenido del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través de sus diversas convocatorias, Secretaría de Energía, Petróleos Mexicanos, Unión Europea, Consejo Regulador del Tequila, Secretaría de Relaciones Exteriores de México y el Ministero degli Affari Esteri (Italia), Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España (CSIC), Centre National de la Recherche Scientifique (Francia), entre otros.

Colaboración

Colaboración con otras dependencias de la UNAM: Instituto de Química, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), Instituto de Investigación en Materiales, Instituto de Biotecnología, Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Instituto de Física, Instituto de Ingeniería, Facultad de Ingeniería e Instituto de Energías Renovables.

Colaboración con instituciones de educación superior y centros de investigación nacionales: Instituto Mexicano del Petróleo, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY), Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV, ESQIE y CICATA), Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, Universi-

dad Autónoma del Estado de México(UAEM), Universidad de Guanajuato, Universidad Autónoma Metropolitana, Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares e Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICYT).

Colaboración con Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación en el extranjero: CNRS-Francia, Institut Natioanal Polytechnique de Toulouse (INPT), CSIC-España, CNR-Italia, Instituto Venezolano de Investigación Científica (IVIC), Università degli Studi di Genova, Università Rovira i Virgili, Università degli Studi di Roma La Sapienza, Universidad de Castilla La Mancha, Imperial College, Universidad Complutense en Madrid, Universidad Nacional de la Plata en Argentina.

Logros y perspectivas

Desde la conformación del primer laboratorio de investigación en catálisis heterogénea en 1971 en el Departamento de Ingeniería Química de la FQ-UNAM, los logros en este campo de investigación en los diferentes departamentos académicos que conforman la FQ han sido muchos y muy satisfactorios. Éstos se han reflejado en la formación de recursos humanos altamente especializados, artículos científicos publicados en revistas indizadas de reconocido prestigio internacional y en el número de citas recibidas, artículos de divulgación, libros y desarrollos tecnológicos con registro de propiedad intelectual. Aunado a lo anterior, la labor de investigación realizada en el área de catálisis también ha sido reconocida por diversas instituciones. A continuación se mencionan algunos de los premios y reconocimientos obtenidos en las últimas décadas otorgados a académicos con líneas de investigación en el área de catálisis:

- Gobierno de la República. Premio de Ciencias y Artes en el área de Tecnología y Diseño, en 2004.
- UNAM. Reconocimiento Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos (RDUNJA), en los años 2000, 2003 y 2009. Premio Universidad Nacional (PUN), en 2001, 2003, 2014 y 2016.
- CONACYT, a través del Sistema Nacional de Investigadores del que forman parte los académicos en sus diferentes niveles.
- Academia Mexicana de Ciencias. Premio de Becas para Mujeres en la Ciencia otorgado por L'Oréal-UNESCO-CONACYT-AMC.
- Sociedad Química de México. Premio Nacional de Química Andrés Manuel del Río (1996, 2002, 2010 y 2013).
- Premio BASF-UDLAP en Química Sustentable, 2012.

En cuanto al registro de propiedad intelectual se cuenta con patentes ya sean registradas por la Universidad Nacional Autónoma de México y/o en colaboración con el Instituto Mexicano del Petróleo ante el Instituto Mexi-

cano de la Propiedad Industrial (IMPI), en la Oficina de Patentes de los Estados Unidos, en la Oficina de Patentes Europea (EPO) y en la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO). A continuación se enlistan algunas de las patentes registradas:

- *Procedimiento de obtención de una formulación catalítica para la producción de diésel de ultrabajo azufre, el producto obtenido y su aplicación.* (2014) Solicitud Expediente MX/a/2014/007510. Folio: MX/E/2014/043373 IMP-UNAM. Solicitud de Patente Internacional. US Patent and Trademark Office. IMP-UNAM. (2016) No. US2016/0008792 A1.
- *Method of enzymatic treatment of a solid lignocellulosic material.* Francia: Institut National Polytechnique de Toulouse, Universidad Nacional Autónoma de México. (2015) United States Patent and Trademark Office Pre-Granted Publication. Número de patente US 20150299751.
- *Mesoporous composite of molecular sieves for hydrocracking of heavy crude oils and residues.* Solicitud (2014) US20140124410 A1. Instituto Mexicano del Petróleo.
- *Devulcanización catalítica de residuos de neumáticos usados.* Registro en trámite por la UNAM. (2013) Número de la solicitud MX/a/2013/009896.
- *Bis-salphen compounds and carbonaceous material composites comprising them.* Solicitud (2013) EP20130382322, No. de publicación: EP2835375 A1. Fundació Institut Català d'Investigació Química, Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats, Polymaterials.
- *Procédé de traitement enzymatique d'une matière ligno-cellulosique solide.* Número de publicación internacional: WO 2013/182827 A1. Francia: Institut National Polytechnique de Toulouse, Universidad Nacional Autónoma de México.
- *Formación de imidazoles a partir de benzonitrilos.* Registro en trámite por la UNAM. (2012). Número de la solicitud MX/a/2012/005313.
- *Composito mesoporoso de mallas moleculares para la hidrodesintegración de crudos pesados y residuos.* Solicitud (2012) Instituto Mexicano del Petróleo MX/a/2012/012877.
- *Catalysts, its preparation and use for hydrodesulfurization of residua and heavy crudes.* US7968069 B2. Concedida (2011). Instituto Mexicano del Petróleo.
- *Catalyst for the hydrodesulfurization of residua and heavy crudes.* Solicitud de patente (2011) Instituto Mexicano del Petróleo. US20110218097 A1.
- *Procedimiento para la remoción de compuestos aromáticos policíclicos azufrados presentes en el petróleo crudo o sus destilados,* Universidad Nacional Autónoma de México (2011) No. Patente: 284270, México.

- *Catalizador para deshidrogenación de hidrocarburos ligeros y su proceso de fabricación.* Registro en trámite por la UNAM. Número de la solicitud de patente en México (2010): MX/a/2010/006078.
- *Proceso de deshidrogenación catalítica de hidrocarburos ligeros sobre catalizadores a base de carbón activado.* Registro en trámite por la UNAM. Número de la solicitud de patente en México: MX/a/2010/006080.
- *Proceso para la dimerización de hidrocarburos olefinicos ligeros en presencia de catalizadores sólidos ácidos.* Registro en trámite por la UNAM (2010). Número de la solicitud de patente en México: MX/a/2010/006079.
- *Proceso para la activación de catalizadores industriales utilizados en los procesos de hidrotatamiento, y su reutilización en la oxidesulfuración de compuestos organoazufrados.* Universidad Nacional Autónoma de México. (2007) Número de solicitud MX/a/2007001725.
- *Polimerización radicalaria en presencia de compuestos cíclicos azufrados.* Registro en trámite Universidad Nacional Autónoma de México y Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico S.A. de C.V. MX/a/2007/010558. Fecha de Publicación: marzo de 2009.

El gran interés por el desarrollo de proyectos de investigación básica y de aplicación industrial orientados a temas prioritarios de nuestro país y a nivel mundial, así como la preocupación por la generación de conocimiento ha llevado a los diferentes grupos de investigación en catálisis de la FQ a apoyar la formación de recursos humanos especializados en esta área, tanto a nivel licenciatura como de posgrado. Al mismo tiempo se ha hecho un esfuerzo importante para lograr una infraestructura experimental de primer nivel e incorporar en los últimos tres años a nuevos académicos dentro del Subprograma de Incorporación de Jóvenes Académicos de Carrera (SIJA) en la UNAM para reforzar las áreas del conocimiento existentes y atender las áreas o necesidades emergentes, de conformidad con el plan de desarrollo de la Facultad de Química. Algunas de estas áreas emergentes son: fuentes alternas de energía a partir de recursos renovables, nuevos materiales, catalizadores altamente selectivos para la eliminación de contaminantes presentes en cortes pesados provenientes de la destilación del petróleo o para el tratamiento de crudo pesado, catalizadores para procesos petroquímicos, para nanotecnología y química verde.

Uno de los grandes retos es lograr que se realice mayor investigación interdisciplinaria y multidisciplinaria entre los grupos de investigación como elemento fundamental para generar conocimiento con un enfoque de aplicación a corto, mediano y largo plazo lo que permitirá desarrollar y/o vincular un mayor número de proyectos con la industria de manera más eficiente.

Sitios de interés

- <www.quimica.unam.mx>
- <<http://www.usaii-fqunam.mx/>>
- <<http://dgapa.unam.mx/index.php/impulso-a-la-investigacion/papiit>>
- Registro de tesis en la UNAM:
<<http://tesis.unam.mx/F>>
- Patentes:
<<http://www.wipo.int/portal/en/index.html>>
<<http://www.gob.mx/impi>, <https://www.uspto.gov/patent>>
- Scopus base de datos, Elsevier.
Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación:
<<http://www.usaii-fqunam.mx/>>

Bibliografía

- Garritz Ruiz, A. Mateos Gómez J. L., (2015). *50 años de investigación y posgrado en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México*. México: UNAM. p 29, 39, 71,121.
- Garritz Ruiz, A. Mateos Gómez J. L., (2015). *Historia de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, su primer siglo: 1916-2016*. México: UNAM, ISBN 978-607-02-7382-7. 19, 245, 278.
- Hernández Luna, M. (2004). Primer Laboratorio de Catálisis en la Universidad Nacional Autónoma de México. J. M. Domínguez Esquivel Coordinador (ed.), *El Amanecer de la Catálisis en Iberoamérica*. ISBN 968-489-017-6 (IMP) 84-96023-25-7 (Cytel) México. 198-205.
- Informe Anual de Actividades*. (2015). Jorge Manuel Vázquez Ramos, director FQ-UNAM.