





**VEINTE AÑOS DEL DESARROLLO DE  
LA CATÁLISIS EN COLOMBIA**

## VEINTE AÑOS DEL DESARROLLO DE LA CATÁLISIS EN COLOMBIA

Autor: Aida Liliana Barbosa, Édgar Páez Mozo

ISBN: 978-958-8736-82-2

Rector:

Germán Arturo Sierra Anaya

Vicerrector Académico:

Édgar Parra Chacón

Vicerrector de Investigaciones:

Jesús Olivero Verbel

Vicerrector Administrativo:

Robinson Mena Robles

Secretaría General:

Marly Mardini Llamas

---

541.395 / B234

Barbosa, Aida Liliana

Avances de la historia de la catálisis en Colombia / Aida Liliana Barbosa y Edgar Páez Mozo;

Freddy Badran Padauí, editor -- Cartagena de Indias: Editorial Universitaria, c2016

159 páginas.

ISBN: 978-958-8736-82-2

1. Catálisis – Colombia – Historia 2. Catálisis heterogéneas – Colombia –Historia I. Badran Padauí, Freddy, Ed.

CEP: Universidad de Cartagena. Centro de Información y Documentación José Fernández de Madrid.

---



Editor: Fredy Badrán Padauí

Jefe de Sección de Publicaciones

Universidad de Cartagena

Diseño de Portada: Jorge L. Barrios A.

Diagramación: Alicia Mora Restrepo

Fotografía: Mario Lorduy Benedetti

Primera Edición: Cartagena, 2016.

Diseño de cubierta: Jorge L. Barrios A.

Corrección de estilo: Fredy Badrán Padauí.

© Aida Liliana Barbosa, Édgar Páez Mozo

Editorial Universitaria, Centro calle de la Universidad, Cra. 6, N° 36 – 100, Claustro de San Agustín, primer piso, Cartagena de Indias, 2016.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia/ Se imprimieron 200 ejemplares

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma, ni por ningún medio sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro - óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial

**VEINTE AÑOS DEL DESARROLLO DE  
LA CATÁLISIS EN COLOMBIA**

**AIDA LILIANA BARBOSA  
ÉDGAR PAÉZ MOZO**



# TABLA DE CONTENIDO

PREFACIO	9
INTRODUCCIÓN	17
CATÁLISIS EN COLOMBIA	45
LA CATÁLISIS EN COLOMBIA	53
CAPÍTULO 1	
DESARROLLO HISTÓRICO DE LA CATÁLISIS HETEROGENEA EN LA ZONA ANDINA	57
CAPÍTULO 2	
CATÁLISIS EN LA REGIÓN ANDINA: DEPARTAMENTO DE BOYACÁ	71
CAPÍTULO 3	
LA CATÁLISIS EN LA REGIÓN ORIENTAL. DEPARTAMENTO DE SANTANDER.	87
CAPÍTULO 4	
LA CATÁLISIS EN LA REGIÓN CENTRAL. DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA	91
CAPÍTULO 5	
LA CATÁLISIS EN LA REGIÓN PACÍFICA DEPARTAMENTOS DE CAUCA Y VALLE DEL CAUCA	113
CAPÍTULO 6	
LA CATÁLISIS EN LA REGIÓN CARIBE. DEPARTAMENTOS DE ATLÁNTICO Y CÓRDOBA	125

CAPÍTULO 7

PRESENCIA DE LA CATÁLISIS EN LA UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
Y EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR 137

CAPÍTULO 8

ENCUENTROS DE CATÁLISIS PERSPECTIVA ACTUAL Y FUTURA 157

## PREFACIO

Como resultado de las actividades realizadas en los últimos simposios colombianos de catálisis SICCAT, algunos miembros, directores de grupos de investigación pertenecientes a la Sociedad Colombiana de Catálisis SOCCAT, expresaron su deseo de participar conmigo de la iniciativa de escribir el libro “AVANCES DE LA HISTORIA DE CATÁLISIS EN COLOMBIA”, donde quedarán reflejados los primeros pasos en el quehacer científico en esta área, el recurso humano con el que se cuenta, las motivaciones y líneas de trabajo, constituyéndose en un primer compendio, donde la contribución de instituciones nacionales y la cooperación con entes internacionales se viera también reflejada. Se quiso también rendir un corto pero sentido homenaje a aquellos pioneros que al terminar este libro ya no están con nosotros, cuyo legado vivirá por siempre.

En la introducción se hace énfasis en conceptos emitidos por eminentes científicos mundiales, sobre todo en el avance de la catálisis para el siglo XXI, basándonos en la literatura científica de la última década, haciendo énfasis en la síntesis inorgánica la cual, una vez recopilada la información en Colombia, mostró ser una línea de acción importante, contando con una trayectoria de más de 10 años en todos los grupos e incluso con éxitos patentados; la síntesis de sistemas catalíticos tanto heterogéneos como homogéneos, se puede considerar un sello al igual que la síntesis de nuevos

materiales. En el capítulo 1, el profesor emérito de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Édgar Páez Mozo, reconstruye los primeros estadios del desarrollo de esta parte de la fisicoquímica en el país, el hincapié del rol de los personajes internacionales y la cooperación con institutos importantes como el de Catálisis y Petróleo Química de Madrid-España y el Departamento de Química de los materiales de la Universidad de Lovaina en Bélgica.

Los capítulos 2 al 8, son sustancialmente recopilaciones de los grupos más antiguos, pertenecientes a diferentes regiones colombianas; se hizo hincapié en los siguientes aspectos: Orígenes de la investigación en catálisis, formación de los primer grupo de investigación básica y aplicada en catálisis, visión académica de los grupos, intercambio con otras instituciones y la industria, primeras publicaciones en catálisis, participación en congresos y patentes, reconocimientos obtenidos, apoyo a centros y universidades que realizan investigación en catálisis, principales líneas de investigación por periodo productivo, principales contribuciones de los autores en los campos académicos, tecnológicos y científicos, perspectiva actual y futura, encuentros de catálisis.

Entre las contribuciones más relevantes a este manuscrito consideramos la del profesor Alfredo Oviedo Aguiar, de la Universidad Nacional de Colombia, quien fuera el fundador del primer grupo de catálisis en la región de Boyacá y Cundinamarca hace más de 40 años. Hoy en día el edificio de Investigaciones de Catálisis de la Universidad Nacional sede Bogotá, cuenta con más de tres grupos de trayectoria nacional e internacional liderados por Jesús Valencia, Sonia Moreno, Rafael Molina, Alexander Trujillo que apoyan el primer programa doctoral en catálisis perteneciente a una Facultad de Ciencias que se creó en Colombia. Sin lugar a dudas otra contribución destacada es la del profesor emérito Édgar Páez Mozo, de la Universidad Industrial de Santander (UIS), quien fuera pionero en la región de Santander y contribuyera a la escuela de postgrado catalítica en Santander. El doctor Páez, pasó más de 50 años haciendo trabajos de investigación, sus aportes tanto en la

parte homogénea como heterogénea de la catálisis, junto con los de otros colegas de Ciencias e Ingeniería, sentaron las bases del Centro de Catálisis NUCAT y de los primeros programas de postgrado en la zona oriental del país. Sus sugerencias, manuscritos y reflexiones acerca de la catálisis colombiana y críticas fueron de valiosa ayuda, hemos de agradecerle los materiales derivados de notas de clase de cursos electivos de catálisis y epistemología de la ciencia que fueron aportados para este manuscrito. Sin los aportes de estos profesores eméritos que siguen activos, sus notas y reflexiones acerca de la catálisis colombiana, este libro habría quedado incompleto y lejano de describir su historia. Se emplearon varios meses en la recopilación de información primaria y secundaria para esta primera versión, porque justo en este año se pueden estar gestando nuevos postgrados en el área, desarrollando proyectos de punta y aumentando los egresados en diferentes regiones del país. Pero ha sido un buen comienzo para que las nuevas generaciones que lo lean, valoren el trabajo del pionero, engrandezcan su legado y conduzcan a la catálisis colombiana a una internacionalización mostrándose como alternativa de ecosostenibilidad, desarrollo energético y, sobre todo del mejoramiento de vida de muchos colombianos. No podemos pasar por desapercibido el hecho de que en estos dos años hemos sentido la ausencia, en especial en la escuela de postgrado de dos personas que por los corredores universitarios, hicieron eco como personas, pedagogos y amantes de la catálisis. A ellos dedicaremos unas líneas destacadas y escritas por sus estudiantes y colegas.

## **IN MEMORIAM**

### **CONSUELO MONTES DE CORREA**

Consuelo Montes profundamente paisa, egresa de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia en 1975, viajó a los Estados Unidos y, en 1989 recibe su título doctoral de Virginia Polytechnic Institute; sin dejar de cumplir su sueño de

seguir estudiando lo que fuera su pasión en 1996 obtuvo su postdoctorado en la Universidad Católica de Leuven-Bélgica.

Esta maravillosa mujer combinaba de forma magistral su trabajo en la Sede de Investigación Universitaria (SIU), sus clases en las aulas de la Universidad de Antioquia, disfrutando particularmente sus clases de ingeniería de las reacciones químicas, y su papel de madre y mujer. Logró con su dedicación posesionar al grupo de catálisis ambiental que lideraba, como uno de los más productivos y de calidad, que ameritó en sucesivas ocasiones financiaciones de entes nacionales e internacionales, para sus investigaciones.

Sorprenden sus trabajos en emisiones gaseosas, tema que le perturbaba en su vieja y querida Medellín entre camiones, buses, metro y fábricas que lo envuelven; por ello los trabajos en eliminación de NOx producidos por combustibles fósiles ACPM en diferentes fuentes móviles y fijas tendrán su sello personal. Deja protocolos en determinación de dioxinas y furanos que se usarán como normas medioambientales, cooperando con entes colombianos como la Asociación Colombiana de Empresas Incineradoras y de Gestión Integral de Desechos y Residuos Peligrosos (Aciger) y con entidades públicas, como la Corporación Ambiental de Antioquia (Corantioquia).

Al igual que su porte y elegancia, también dejó de lado lo oscuro de la contaminación, para dedicarse a la extracción de aceites esenciales y extracción de colorantes, hoy empleados en la industria de alimentos; su preocupación personal en su simpatía por lo macrobiótico y vegetariano, impulsaba a que Colombia le siguiera apostando a lo natural, sinónimo de salud y bienestar.

Siempre fue una pensadora incesante, que reconocía que en Colombia la escuela catalítica iba madurando y que ya existían colegas muy buenos en grupos de la Nacional, UIS, Valle con una tradición de mucho trabajo.

Una líder innata, arriesgada, pionera en poner la ingeniería química al servicio de la descontaminación ambiental a través

de la catálisis, que consolidó con los años varios estudiantes de maestría, doctorado y postdoctorado dejando cerca de veinte personas de planta, que se constituyeron en su legado para la Catálisis Ambiental en la región antioqueña.

Y es que a Consuelo la queríamos todos, a través del CYTED, su labor en la secretaría de FISOCAT dando a conocer la catálisis en Iberoamérica, Francia con su desarrollo para Ecos Nord, y sus colegas en Brasil, Chile, Argentina, Perú, quienes hicieron llegar a nosotros un saludo como sociedad plagado de emotividad, para un ser que dejó recuerdos valiosos y buenas conversaciones siempre con ese mensaje positivo que la caracterizó.

Colegas de la profesora Montes

Grupo Catálisis Ambiental U. de A.

## **IN MEMORIAM**

### **ARISTÓBULO CENTENO HURTADO**

El Profesor Aristóbulo Centeno Hurtado nació en Palmar (Santander) el 12 de julio de 1947 y murió en Bucaramanga el 15 de mayo de 2011; se hizo hijo adoptivo de Cartagena, allí creció junto a sus padres, Aristóbulo y Esther, y hermanos César, Myriam y Carmen Eugenia. El profesor Centeno, nuestro “Profe”, era un educador exigente, un investigador perspicaz, un soñador y un jugador de fútbol empedernido, un compañero intachable y un ejemplo de honestidad, de principios y convicciones. Un regalo para los estudiantes del curso electivo de catálisis de la Universidad Industrial de Santander (UIS), era una copia de las actas del XVI Simposio Iberoamericano de Catálisis, organizado por el CICAT, realizado en Cartagena en 1998; el “Profe” Aristóbulo quien prefería ser reconocido como profesor antes que doctor, se enorgullecía de su impecable edición.

Su experiencia docente comenzó en 1972 cuando dictaba clases de Química General después de recibir el título de Ingeniero

Químico de parte de la UIS ese mismo año. Antes de regresar a la UIS para iniciar una maestría, el “Profe” Centeno trabajó en su amada Cartagena en Abonos Colombianos S.A. y Amoníaco del Caribe a cargo del manejo del reactor catalítico para la producción de amoníaco, diseño de Gilbert Froment, y el cual el reconocido Rostrup-Nielsen estudió personalmente durante su doctorado. Por su trabajo: *Simulación del proceso de extrusión de materiales poliméricos*, la UIS le confirió en 1984 el título de Magíster en Ingeniería Química, trabajo que presentó en el Primer Coloquio Nacional de Polímeros en Barranquilla en 1987, cuando ya habían pasado doce años desde su primera presentación en un congreso académico, el IX Congreso Colombiano de Ingeniería Química realizado en Cali. Al final de su carrera, participó en no menos de 35 congresos científicos internacionales y en 10 nacionales. La maestría marcó su paso definitivo de la industria a la academia.

En 1980, se incorporó como profesor a la Escuela de Ingeniería Química de la UIS. Al final de 1993, obtuvo la máxima categoría: “Profesor Titular”, y en el 2000 recibió la distinción de “Profesor Laureado”. En 1986, participó en un taller sobre formulación de proyectos de investigación dictado por el profesor Alfonso Conde por quien sentía gran admiración. En aquel entonces, se convirtió en miembro activo del Grupo de Catálisis y Polímeros de la UIS e hizo parte del comité editorial de la revista ION. En 1988, realizó una pasantía en la Universidad de Génova en Italia. En 1989, publicó el libro: *“Bases de termodinámica para ingeniería”* seguido de *“Bases de termodinámica para ingenieros químicos”* en 1992. Estos libros fueron la base de sus cursos de termodinámica en la UIS y se caracterizan por una gran calidad didáctica y una clara exposición de conceptos para sus estudiantes, entre los cuales se encuentran algunos de los autores de esta breve reseña. También publicó varios artículos sobre simulación de procesos, preparación de materiales catalíticos (alúminas) y termodinámica química. En 1989, fue co-autor del artículo: *“Synergy in hydrodesulphurization and hydrogenation of mechanical mixtures of cobalt sulphide and MoS<sub>2</sub> on alumina”* publicado en Applied Catalysis, junto al profesor

Bernard Delmon; de acuerdo con las bases de datos, es el primer artículo internacional publicado por un colombiano en Catálisis Heterogénea. Fue bajo la dirección de B. Delmon y F. Thyrion como realizó su tesis doctoral: *Hydrodésoxygénation catalytique de composés modèles: Contribution à l'étude de la stabilisation des huiles de pyrolyse de la biomasse* entre 1991 y 1997 en la Université Catholique de Louvain, Bélgica. Este trabajo y sus publicaciones son una referencia actual en hidrotratamiento catalítico de biocombustibles. El “Profe” Centeno siempre recordó y trató de aplicar las enseñanzas académicas y personales de monsieur Delmon.

A su regreso a la UIS, retomó su labor investigativa con especial énfasis en el hidrotratamiento (HDT) catalítico; y en especial, la hidrodesulfuración (HDS). A través de la dirección de varias tesis de maestría llegó a descubrir que los catalizadores bimetalicos Pt-Mo poseen alta sinergia catalítica en HDS, aun mayor que la de catalizadores industriales CoMo y NiMo, utilizando concentraciones bajas de Pt. Esto lo llevó a explorar la naturaleza de la fase activa de catalizadores basados en metales nobles para HDT basándose en el comportamiento catalítico en lugar de técnicas más sofisticadas de caracterización. A partir de ello, propuso, junto a la profesora Sonia A. Giraldo y sus estudiantes de maestría y doctorado, la existencia de fases metálicas que actúan como centros activos en el HDT aun bajo una atmósfera de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ). Esta idea ha comenzado a ser aceptada por la comunidad científica internacional tras ser corroborada mediante avanzadas técnicas de caracterización *insitu*. Su trabajo también se enfocó en el estudio de las propiedades ácido-base de catalizadores para HDT y su influencia en la reactividad de moléculas presentes en cortes pesados y livianos de refinería. En conjunto, estos trabajos aportan herramientas para el diseño de catalizadores eficientes mediante un conocimiento profundo de la interrelación fase metálica-soporte.

Además de su trabajo en HDT, realizó diversos proyectos en valorización de gas natural, coordinó el programa de cooperación de posgraduados (PCP) catálisis y gas entre Francia y Colombia. Más recientemente incursionó en el campo de la fotocatalisis donde publicó varios artículos internacionales y co-dirigió una tesis doctoral y una de maestría junto a la profesora Sonia A. Giraldo. Es la suma de los trabajos anteriores junto a sus colegas y estudiantes de ingeniería, maestría y doctorado del Centro de Investigaciones en Catálisis (CICAT-UIS) la que ha posicionado a este centro en la más alta categoría otorgada por Colciencias.

En medio de esta efervescencia investigativa, el “Profe” había decidido este año tomarse una pausa sabática que dedicaría a la escritura de su *“Catálisis light”*, libro que estaba preparando a partir de, tal como él mismo decía, lo que se le viniera a la cabeza. Dada su mente brillante, su percepción particular del mundo y amplia experiencia en el campo de la catálisis heterogénea, uno podía esperar que “lo que se venía a la cabeza” bien podría constituir una muy innovadora visión del campo que satisfacía su inquieto espíritu científico antes que le llegara la noche en medio de un animado partido de fútbol de domingo junto a sus compadres del “glorioso ARPRUIS”.

# INTRODUCCIÓN

Aida Liliana Barbosa López, Ph.D. Laboratorio de Investigaciones en Catálisis y Nuevos Materiales LICATUC, Universidad de Cartagena

El sueño del hombre moderno es alcanzar una sociedad sostenible que equilibre la economía y el medio ambiente natural. La catálisis ha sido considerada la clave para lograrlo; por ello, debe constituirse una disciplina científica y tecnológica cuyas investigaciones deben ser promovidas en gran medida en todo el mundo, con el fin de mantener y proteger la naturaleza, la vida y la sociedad.

Mundialmente se reconoce el campo de la Catálisis Heterogénea como uno de los de mayor crecimiento, pero aun faltan desarrollos. En los años 60 se utilizaba el ensayo y error para sintetizar un catalizador; hoy día hay un enfoque molecular, orientado hacia el diseño; la ampliación de técnicas de caracterización modernas y muy sensibles han hecho que la comprensión de los mecanismos de la reacción catalítica y el tipo de sitio catalítico esté cada vez más definido. También los estudios computacionales han agregado detalles estructurales y energéticos a las especies que están en la superficie y cómo operar las fuerzas cinéticas en ellas. El avance en nanociencia ha incorporado a la Catálisis Heterogénea

nuevos métodos en la obtención de los sólidos, más sofisticados, con concentraciones elevadas de sitios activos, identificados por estudios fundamentales mecanísticos, tomándose como ventaja el tamaño y la forma de la partícula nanométrica, usándose como fase activa y soporte. Las sofisticadas nonoestructuras añaden nuevas funcionalidades y propiedades físicas al catalizador simple, o combinan dos o más funciones primarias en un solo catalizador. Sin embargo, las nuevas herramientas aún no se han explotado, para el entendimiento de las limitaciones de una gran variedad de sistemas catalíticos de importancia industrial, en la producción y consumo de energía, tecnologías limpias medioambientales, síntesis de materias primas y productos de química fina.

Para el 2000, fueron discutidas cuatro áreas como dirección futura de la catálisis, enfocada de la siguiente forma [1]:

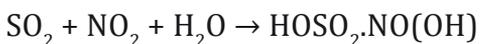
1. Establecimiento de la correlación entre la estructura, actividad, dinámica molecular, reordenamiento, estados de transición y productos intermedios de la reacción de sistemas catalíticos enzimáticos, heterogéneos u homogéneos a través de la investigación de las reacciones en condiciones experimentales similares. Se requiere una mejor comprensión de la heterogeneidad existente en la catálisis quirral a través de la caracterización *in situ* para descubrir incluso nuevos sistemas quirales.
2. Desarrollo de nuevos protocolos de síntesis, para establecer control molecular sobre la estructura, la distribución y ubicación de agentes promotores en el catalizador.
3. Caracterización molecular de enzimas, catalizadores heterogéneos u homogéneos usados industrialmente, proveyendo información experimental crucial, que conduzca a la identificación de las etapas primarias en el mecanismo de reacción, que combinado con técnicas de instrumentación sensibles, logre una mejor resolución temporal y espacial aplicada en condiciones de reacción.

4. Identificación de ciclos catalíticos en matrices complejas como el suelo, minerales u océanos y focalizar esfuerzos en la recogida de datos y estudios de reacciones modelo.

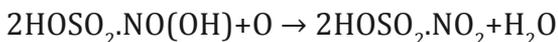
Otras direcciones importantes de la ciencia catalítica que se plantearon en aquel momento, incluyeron la conversión de metano, electrocatálisis, el papel del átomo de hidrógeno en la hidrogenación catalítica, la sustitución de los ácidos inorgánicos empleados como catalizadores en sistemas homogéneos por sólidos ácidos heterogéneos y desarrollos adicionales de la teoría de los procesos catalíticos.

No podemos olvidar que el campo de la Catálisis Heterogénea tiene una larga e ilustre historia. Poco después de la introducción del término por Berzelius en 1835 y la definición más científica proporcionada por Ostwald en 1895, los esfuerzos para desarrollar procesos utilizando catalizadores han sido vitales para el crecimiento de la industria química. Durante muchos años, los primeros catalizadores fueron muy probablemente el resultado de ensayo y error, enfoque basado en las observaciones de los científicos. Cuando Berzelius definió el término de catálisis, los ejemplos que citó no incluyeron ninguna aplicación industrial. Por ejemplo, no se hizo mención del proceso de cámaras de plomo, cuyo mecanismo propuesto por Lunge y Bel para la oxidación del dióxido de azufre, se resumió como se aprecia:

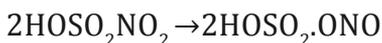
\*Reacción con vapores de ácido nitroso



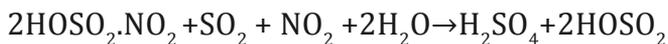
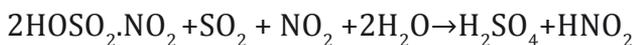
\*Oxidación del ácido hidroxinitrosulfúrico.



\*Isomerización de ácido nitrosulfúrico.



\*El ácido nitrosulfúrico forma ácido sulfúrico con vapor de dióxido de azufre.



La eficiencia del proceso dependía de la mezcla de gases lograda en la cámara de plomo. Tampoco hace mención de la patente Phillips que propuso el uso de un catalizador de platino para la producción del ácido sulfúrico.

Varios de los procesos catalíticos de gran importancia industrial se han desarrollado, incluyendo la oxidación del dióxido de azufre a ácido sulfúrico en 1875, inicialmente catalizado por platino soportado sobre asbesto, sulfato de magnesio o sílice, la oxidación de metanol a formaldehído en 1890, mediante una gasa de plata, la hidrogenación de olefinas y los aceites y grasas comestibles a principios de los años 1900, catalizada por partículas soportadas de Pt o Ni, el proceso Ostwald para oxidar amoníaco a ácido nítrico en 1906, utilizando aleaciones de Pt-Rh y el proceso Haber para producir amoníaco a partir de  $\text{N}_2$  y  $\text{H}_2$  en 1913 promovido por materiales a base de hierro [2].

Esta larga lista de procesos catalíticos comerciales continuará creciendo, con ejemplos conocidos como la síntesis de Fischer-Tropsch para la obtención de combustibles, la oxidación de etileno a óxido de etileno para fabricar anticongelante líquidos, vapor y el reformado catalítico utilizado para la producción de hidrógeno y gas de síntesis de acetato de vinilo para la fabricación de polímero y el catalizador de tres vías como convertidor para el tratamiento de emisiones de los gases de los automóviles.

Los primeros desarrollos históricos de la catálisis se deben a estudios empíricos, muchos de ellos de ensayo y error, la comprensión básica de la química de la catálisis. Los primeros aportes de la señal en ese sentido fueron proporcionados por las obras de Bodenstein, Ostwald, Sabatier, Langmuir, Rideal, Hinshelwood, Taylor, Eley, Horiuti, Polanyi, Ipatieff, Bond, Wells, y otros [3,4]. Aquellos pioneros desarrollaron la cinética y

termodinámica básica, conceptos asociados con la adsorción, desorción, y reacciones en la superficie que explican lo heterogéneo en la catálisis, y el entendimiento de los procesos superficiales en términos de reacciones específicas, tales como la adsorción disociativa de  $H_2$ ,  $O_2$  y  $N_2$ , reactivos clave en varias síntesis industriales, que se producen en sitios específicos conformados por conjuntos únicos de átomos en la superficie del catalizador. Sin embargo, la introducción de nuevos procesos catalíticos en general, ha precedido de un vasto estudio a nivel molecular explicando cómo funcionan. La catálisis cambia de imagen de forma significativa y fundamental hacia la mitad del siglo veinte, con el desarrollo de mejores herramientas experimentales y teóricas para la caracterización de catalizadores sólidos y para el estudio de las reacciones en las superficies sólidas [5-7] y nuevos procedimientos de síntesis más complejos y definidos [8,9].

El enfoque de la catálisis de aumentar la conversión de las materias primas en reacciones relativamente simples, está cambiando a enfatizar en la mejora de la selectividad de los catalizadores y promover preferiblemente reacciones a partir de complejos en atmósferas controladas y bajo protocolos de síntesis sofisticadas. [10,11].

Las exigencias de los nuevos procesos industriales son cada vez mayores; por ejemplo, la síntesis selectiva de enantiómeros quirales puros, para aplicaciones farmacéuticas, agrícolas y en la industria alimentaria [12, 13]. No solo porque aumentan la selectividad, se reduce el consumo de reactantes, se facilitan los procesos de separación, sino porque se logra ser más amigable con el medio ambiente. Esto implica nuevos retos para ampliar los conocimientos de los detalles moleculares en la catálisis y mejores métodos sintéticos que pueden satisfacer las condiciones identificadas en los estudios básicos.

La catálisis tradicional se encuentra ante el reto de sustituir los procedimientos empíricos antiguos por un enfoque molecular basado en el diseño; una vez que un proceso catalítico deseado sea

elegido, se debe hacer una identificación de los criterios básicos de la química para definir los requisitos para el catalizador, estos criterios son los que se derivan de los mecanismos fundamentales, estudios de las reacciones en la superficie, que están siendo ayudados por el conjunto de técnicas analíticas, superficiales, sensibles desarrolladas en las últimas décadas [14] y también por los importantes progresos realizados en los últimos años en métodos computacionales basados en la mecánica cuántica y el modelado cinético para predecir y comprender las estructuras, aspectos energéticos y cinéticos de las especies adsorbidas y las reacciones superficiales [15].

Las actuales demandas de la presencia de sitios particulares en la superficie, capaces de actuar selectivamente, la promoción de reacciones específicas en grandes concentraciones de sitios activos y minimizar los sitios capaces de promocionar reacciones indeseables, conlleva preparar catalizadores con características estructurales de tamaño y forma muy definidas, que requieren métodos sintéticos como sol-gel, coloidal, y otro de auto-ensamblaje. Es por ello por lo que la síntesis ya presenta sinergia entre los campos de la ciencia de superficies, química computacional, y la síntesis de materiales a nivel molecular para promover selectivamente reacciones específicas en sistemas complejos.

Hacia el año 2009, los objetivos de la catálisis se extendieron ampliamente a otras áreas industriales y sociales. Dado que el calentamiento global y otros temas ambientales se han convertido en un asunto de grave preocupación, lograr la materialización de una sociedad sostenible que preserve el medio ambiente es un reto difícil. Ello requiere diseñar sistemas capaces de analizar las etapas de reacción de forma dinámica y de la creación de nuevos catalizadores y las reacciones catalíticas con química de nano o micro-ensamblaje de elementos y moléculas de nivel catalítico y el desarrollo de varios catalizadores y procesos catalíticos para la utilización de nuevos recursos como la biomasa, catalizadores

ambientales, catalizadores para la utilización de los recursos biológicos, catalizadores relacionados con pilas de combustible, fotocatalizadores, catalizadores de síntesis orgánica, etc. Países como Japón han reorientado la investigación en catálisis bajo el lema *La innovación es conducida por la catálisis*, constituyendo grupos dedicados exclusivamente a investigar sobre la química catalítica básica que trabajan de la mano con clúster de jóvenes investigadores entrenados para innovar en los procesos fundamentales estudiados, para llevarlos a escalamiento industrial.

La tabla 1 y 2 resumen la estructura de los clústers de investigación y la división de investigación fundamental que traza la investigación catalítica en Japón [16], desde el año 2009.

Sin lugar a dudas, vemos que la visión japonesa centra un grupo selecto de personal en la profundidad de los conceptos básicos, pero de manera interactiva y muy fuerte con grupos de investigadores-innovadores que poseen la capacidad de tomar los conceptos de los grupos básicos y llevarlos a desarrollos industriales en las aéreas que, como la electrónica, caracterizan al país; quizás nosotros podríamos reflexionar si una de las aéreas que caracteriza nuestro país es agroindustria, biocarburantes, energía a partir de la biomasa y biorefinerías, se debería derivar y fortalecer las políticas científicas para que se desarrollaran en el país.

Hay que hacer notar que esta división presentada en las tablas 1 y 2, es de conocimiento del estado japonés, que se integra a través de estos centros especializados como el de la isla de Hokkaido y el mensaje que nos dan es que todas las áreas de la ciencia y la tecnología deben trabajar en armonía y concertadamente para hacer frente a problemáticas ambientales complejas y la generación de nuevos poluentes emergentes más difíciles de erradicar y que podrían cambiar la historia del planeta. En particular, la química desempeñará un papel fundamental, además de contribuir como actor central, porque la química es una de las disciplinas científicas, que tiene una alta responsabilidad en solucionar el problema

del calentamiento global. Desde el comienzo, la transformación química es tema central de la catálisis química y se constituye en tecnología clave para una sociedad sostenible.

**Tabla 1. Estructura de los clústers de investigación catalítica en Japón en el año 2009**

<b>CLÚSTER DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>OBJETIVOS PRINCIPALES Y ACTIVIDADES</b>
Inducción asimétrica de la No-Centro-quiralidad como medios novedosos	Estudio de la reacción asimétrica, características, empleo industrial de los catalizadores obtenidos a partir de compuestos no centroquirales.
Estructura superficial bien definida para el control de las reacciones preciso.	Obtener y estudiar estructuras superficiales bien definidas para el control preciso de reacción, por modificación superficial de un monocristal de un óxido metálico, usando procesos químicos húmedos.
Cristales funcionalizados	Diseñar nuevos fotocatalizadores funcionalizados para trabajar en el visible, basados en óxidos mixtos y desarrollo de reacciones fotocatalíticas de eficiencia alta sobre estructuras bien definidas.
Campo de conversión de la energía	Innovar en síntesis de materiales sólidos electrolíticos a base de óxidos metálicos, y el desarrollo de novedosos sistemas de generación de energía sin utilizar catalizadores nuevos.
Bio-interfases	Desarrollar nuevos métodos para la observación de los cambios dinámicos en las biomoléculas y biomateriales, con funciones recién descubiertas en los estados agregados.
Conversion de biomasa	Sintetizar compuestos de azúcar por craqueo catalítico de biomasa renovable, que luego serán convertidos en combustibles y productos químicos. El primer craqueo catalítico de celulosa en sorbitol se logró sobre catalizadores metálicos soportados.

Reacciones basadas en el ensamble molecular	Construir ensamblajes moleculares sobre superficies sólidas ordenadas para obtener nuevas funciones catalíticas. Esto requiere una exploración interdisciplinaria, bajo estudios catalíticos, química orgánica y ciencia de superficies.
Nanocatalizadores, diseñados racionalmente	Síntesis de nano partículas de aleaciones con estructura bien definida y aplicación de los mismos para producción de hidrógeno como fuente de energía. Los objetivos abarcan al sistema de aleación, donde los elementos que la componen son distribuidos al azar, dispuestos regularmente, o separados en una estructura de “core-shell” núcleo- corteza.
Conexión en red de los investigadores en la ciencia catalítica	Cooperar y lograr la fusión de las actividades de investigación de catálisis y la ejecución de los programas internacionales, que den la oportunidad de cultivar los campos nuevos en catálisis química.

Tomado ref [16]

En 2008, la cumbre G-8 reunió instituciones representativas en catálisis como en Japón CRC, Hokkaido University por el Reino Unido (Universidad de Cardiff), por EE.UU. (Universidad de Delaware), por Alemania (Fritz-Haber-Institut del Max Planck – Gesellschaft), por Francia (CNRS / Ecole Centrale de Lyon), por Rusia (Boreskov Instituto de Catálisis), por India (Centro de Innovación, Tata Chemicals Ltd.), por la China (State Key Laboratory de Catálisis, DICP). Después de una discusión estimulante se concluyó:

Que una de las preocupaciones por resolver, la mitigación del calentamiento global, es claro que es el resultado de actividades antropogénicas; hoy en día acciones correctivas han sido propuestas, incluyendo el desarrollo de mejores métodos para obtener productos químicos y producción de energía. Sin embargo la mitigación y control óptimo, será posible gracias al desarrollo de competencias científicas de ingenieros y químicos en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, lográndose un nivel final de cero emisiones.

Disciplinas diversas tienen que confluír para que esto se haga real. Otra de las conclusiones fue la aplicación de la catálisis química a la transformación de materiales crudos con impurezas altas, en productos útiles de uso diario como combustibles de automoción, plásticos, productos farmacéuticos. La catálisis puede contribuir a un mundo más verde y a combustibles ecológicamente sostenibles.

**Tabla 2 Estructura de la división de investigación fundamental catalítica en Japón en el año 2009**

División de investigación	Objetivos principales y actividades
Química de la estructura de la superficie	Desarrollar técnicas de la química, completamente nuevas a nivel global, que sean adecuadas para el análisis de superficie en espacio y tiempo real.
Espectroquímica interfacial	Evolucionar las técnicas originales para lograr el monitoreo en tiempo real de la dinámica de las reacciones en interfaces entre estados y sintetizar materiales diferentes innovadores empleándolos en estados (sólido, líquido y gas).
Química de reacciones catalíticas	Desarrollar en química sintética, partículas fotocatalíticas noestructuradas.
Química de materiales catalíticos	Desarrollar nuevos métodos de síntesis inorgánica a escala nano, lograr catalizadores de oxidación con estructuras micro y nano altamente ordenadas a través de métodos sintéticos nuevos e innovadores..
Química de catálisis molecular	Identificar mecanismos en reacciones complejas, en la química orgánica clásica que implican transformaciones de enlaces de carbono, e investigaciones sobre diversas reacciones de síntesis orgánica. Lograr la síntesis orgánica de materiales electrónicos
Transformaciones catalíticas	Estudiar la respuesta catalítica de materiales mesoporosos sólidos, y la realización de reacciones catalíticas super-selectivas
Ensamblados generales catalíticos	Contribuir a la química de los agregados moleculares, la elucidación de la química de los metales ensamblados, y el uso de los resultados para las reacciones catalíticas.

Tomado ref [16]

Otro de los hincapiés hechos, en la cumbre de 2008, fue la necesidad de establecer una base para la investigación fundamental, en la transformación y síntesis de materiales utilizando catálisis, para ello, la escuela de graduados de química pura y aplicada debe asociarse con la escuela de química de los materiales, para que los estudiantes sean educados en la interdisciplinariedad, lo que se espera incremente la innovación científica y tecnológica. Functions and activities of catalysis research center, Hokkaido University, for Catalysis Research Communities) [16].

Recientemente, en el año 2011, la American Chemical Society a través del simposio Gabor A. Somorjai[17], pone de nuevo la necesidad de estudiar la ciencia de superficie fundamental, la química verde, la catálisis de control de emisiones, catálisis ácido-base, estudios computacionales, la síntesis de nuevos materiales y espectroscopia especializadas como la de adsorción para comprender mejor la estructura y mecánica y aspectos de la catálisis a través de la caracterización y síntesis de catalizadores bien controladas, debido a la dificultad de obtener relaciones precisas estructura-actividad por la naturaleza no uniforme de los catalizadores preparados, usando técnicas convencionales. Para hacer frente a este problema, se propone la exploración de estrategias de síntesis, basadas en técnicas empleadas en química organometálica. [17]

En la actualidad, la catálisis involucra cerca del 80% de todos los procesos químicos industriales, y contribuye en el año 2012 aproximadamente al 35% del PIB de la población mundial [18].

Debido a que una de las mayores áreas de desarrollo en la escuela catalítica colombiana ha estado relacionada con la síntesis de catalizadores, abordaremos un poco la tendencia, recordando que el siglo veinte se caracterizó por un rápido desarrollo de numerosos procesos catalíticos industriales, lo que fue posible debido a una variedad de síntesis de catalizadores nuevos.

Tres problemas básicos aparecen en el desarrollo de catalizadores modernos: composiciones eficientes, con actividad

catalítica, su estructuración, lograr máxima eficiencia, estabilidad y vida útil. Aun en el siglo XXI siguen preguntas por resolver como: ¿Cuáles son la estructura y la textura óptima que aseguran el uso más eficiente del catalizador para un proceso en particular? Para ello es necesario conocer el conjunto de las características principales de los catalizadores [19-21].

¿Qué método de preparación debe ser elegido, cuáles pasos principales y auxiliares conllevarán a las mejores características del catalizador resultante? Para ello debe tenerse en cuenta que la optimización de cada parámetro o característica particular de un catalizador, es un problema de independencia y requiere de gran gasto. A veces, incluso una composición activa conocida, no es comercializable porque no posee una forma de estructurarse físicamente y que sea apropiada para empacar un lecho catalítico industrial, por ejemplo, pastillas simples. La preparación de los catalizadores fue inicialmente un arte de la cocina basada en lo empírico y en una selección intuitiva de las condiciones y métodos, luego se transformó en ciencia con el desarrollo de métodos físicos, que permitían monitorear los cambios de propiedades de un catalizador, en las etapas iniciales, intermedias y finales de preparación. Algunos autores creen que los métodos convencionales no se pueden mejorar más y sólo los nuevos enfoques no convencionales de la síntesis de catalizadores pueden dar lugar a un gran avance en el desarrollo de los sistemas catalíticos con nuevas propiedades. Sin embargo, el concepto de métodos convencionales, no se debe ver como algo complejo revestido de operaciones, sino dinámico, enriquecido con nuevas ideas y mejorado radicalmente para así recuperar importancia.

Entre los métodos convencionales de síntesis que incluyen catalizadores sólidos hay dos métodos principales, a saber, la condensación y la dispersión [22]. Condensación implica la formación de un sistema heterogéneo disperso, a partir de un sistema homogéneo por la asociación de moléculas, átomos o iones en agregados. En la dispersión, los sólidos pueden obtenerse

por condensación de una fase gaseosa o líquida. La dispersión, es la deformación o pulverización de las fases macroscópicas a micro tamaños (en algunos casos, a tamaños coloidales). La dispersión puede llevarse a cabo mediante tratamiento mecánico, provocando transiciones de fase, y por la eliminación de parte no porosa del material, mediante tratamiento químico o térmico. La preparación de una sustancia de partida, para la producción de un producto comercial con una cierta forma y tamaño, es un proceso de múltiples pasos. El procedimiento de preparación del catalizador, recibe su nombre del paso clave que determina, en gran medida, los principales parámetros del catalizador resultante. Los métodos que han encontrado un amplio uso (incluyendo el uso industrial) se llaman generalmente convencionales. Estos pueden dividirse en seis grupos principales:

1. Precipitación de soluciones (o coprecipitación de sistemas multicomponentes) incluye formación del gel o precipitado, seguido del lavado, secado y tratamiento térmico. Estos métodos deben considerarse como un caso particular de los métodos de condensación que producen polvos y suspensiones.
2. Los métodos de deposición se basan en la introducción de una sustancia de partida (un precursor de la sustancia que será el componente de la fase activa), en un soporte poroso seguido de la deposición del componente activo en la superficie. Estos métodos también se clasifican como procedimientos de condensación. La deposición puede llevarse a cabo ya sea en estado gaseoso o líquido.
3. Métodos basados en la mezcla mecánica de los componentes, se utilizan como una alternativa a la coprecipitación y deposición. Su ventaja es que produce poca agua residual y emisiones de gases. La etapa clave del método es la dispersión y homogeneización de los componentes de partida, seguidos de un secado o calcinación.

4. La descomposición térmica, es el paso más importante en la mayoría de los métodos de preparación. La diferencia puede estar en el procedimiento que permite obtener sustancias con propiedades nuevas o en las sustancias precursoras, como ejemplos se nos presentan, la descomposición por pulsos o activación termoquímica de la gibbsita que conduce a un producto amorfo finamente dividido con alta reactividad [23]. Un ejemplo de la segunda variante es la descomposición de las sales simples o complejas (Carbonatos, formiatos, oxalatos, citratos, etc) formando óxidos finamente divididos.
5. La preparación de muestras porosas, esponjosas por tratamiento químico de los sólidos reactivos porosos o no porosos (lixiviación de aleaciones, producción de termólisis carbón activo, etc). Sin embargo, este método se emplea en la preparación de una variedad de catalizadores comerciales adsorbentes muy importantes.
6. Métodos químicos de deposición de vapor, se basan en la pirólisis de compuestos volátiles, orgánicos e inorgánicos en la ausencia o presencia de agentes oxidantes. Por ejemplo, la pirólisis de hidrocarburos se utiliza para producir el negro de humo y composites que contienen soportes carbonosos de la familia Sibunit [24]. La hidrólisis en fase de vapor u oxidación del cloruro volátil  $\text{MeCl}_4$  se utiliza para preparar polvos dispersos de  $\text{SiO}_2$  y de  $\text{TiO}_2$  [25]. La descomposición de los carbonilos metálicos, por ejemplo, tetracarbonilo de níquel, hace posible obtener partículas metálicas más pequeñas que 4 nm. Una combinación de diferentes métodos de preparación se utiliza a menudo en el desarrollo de una tecnología de catalizador industrial.

En la década de 1970-1980, las principales tendencias en el campo científico en la obtención de catalizadores soportados fueron los siguientes: desarrollo de la teoría de adsorción electrostática (e intercambio de iones) para la deposición de cationes y aniones precursores sobre la superficie de un óxido como soporte a partir de soluciones acuosas de electrolitos, desarrollo de los principios

teóricos y prácticos de la deposición de precursores organometálicos a través de la interacción química con la superficie y desarrollo de los fundamentos de la síntesis de catalizadores bimetálicos [26-27]. Entre las tendencias relativamente nuevas en este ámbito, la deposición-precipitación (DP), usa el método de microemulsiones (agua en aceite) empleándolas como soluciones de impregnación. Por ejemplo, utilizando este método el tamaño de partícula del catalizador Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es más pequeño siendo más activo para la oxidación de tolueno, que el obtenido por la precipitación a partir de soluciones acuosas de ácido cloroplátinico [28].

Sin embargo, los estudios de la formación de microemulsiones, en la síntesis de catalizadores soportados son pocos, los mecanismos de formación de estos catalizadores y el potencial de este método permanecen todavía en estudio. Otra tendencia clara es la extensión de la zona de aplicación de la deposición por el método de vapor químico (CVD) [29].

Los procesos químicos que ocurren en la superficie durante la ECV son similares a los productos químicos en la precipitación a partir de soluciones y difieren sólo en la metodología sintética. El método deposición-precipitación produce partículas dispersas (de tamaño de 4 nm y por debajo), con una distribución de tamaño estricta. Por lo tanto, una de las razones principales para utilizar este método, es la capacidad de adsorción débil que algunos compuestos metálicos tienen, que es comúnmente usada en el caso de la deposición de una sal inorgánica.

La segunda razón es que el uso de metales nobles como sales cloruro, conlleva a la contaminación de la superficie por la adsorción de algunos complejos de cloro, que son venenos catalíticos en muchas reacciones. Esta situación se observa, por ejemplo, en la síntesis de catalizadores de oro para la oxidación del CO por la adsorción de los AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> en la superficie de óxido de diversos soportes [30]. Cuando un precursor de oro se deposita en forma de partículas de hidróxido, el efecto de envenenamiento de los átomos de cloro es mucho más débil. Desde el descubrimiento

de la sorprendente actividad de partículas de oro de tamaño <5 nm en la oxidación de CO en el año 1987, el principal método de la preparación de este sistema es deposición-precipitación (DP), debido a que es el más favorable para la producción de partículas finas de oro. La DP puede llevarse a cabo por los siguientes tres procedimientos:

1. Un agente de precipitación se añade a un soporte suspendido en una solución de un precursor de un componente activo.
2. Una solución de un precursor se añade a una suspensión de un soporte en una solución alcalina.

Una solución de un precursor se mezcla con un alcalino agente para obtener compuestos coloidales del precursor como PHC o soles, y después esta solución se pone en contacto con un soporte.

3. El tercer método es el más conveniente para la deposición sobre soportes granulares. Sin embargo, las partículas coloidales especialmente deben estabilizarse, para evitar su coagulación en la mayor parte hasta que la solución penetre en los poros.

El proceso consta de dos pasos: (1) precipitación de la masa de una solución tanto en los poros del soporte y sobre el soporte y (2) la interacción del precipitado con la superficie de soporte.

Los nuevos métodos, no convencionales para la preparación de catalizadores, involucran las operaciones de métodos convencionales en una nueva combinación o modificación de ingeniería. Estos son capas de iones diferentes sobre la superficie logradas por una serie de ciclos de quimisorción, la pirólisis de compuestos metálicos volátiles sobre una superficie caliente, diversas síntesis hidrotermal, la descomposición de dispersiones coloidales de sales. El segundo grupo de métodos que son relativamente nuevos en la preparación de los catalizadores, es el utilizado en la síntesis de productos químicos, cerámica, vidrios, películas, polvos, etc. Estos métodos se basan en condensación o dispersión, se pueden dividir en dos subgrupos grandes: químicos (físico-químico) y los métodos físicos. Otros métodos son los electroquímicos, para

producir sustancias usadas como precursores de los soportes y catalizadores. También se afirma que la estructura resultante de poro, es superior en propiedades morfológicas que la que se consigue mediante la síntesis convencional. Las tecnologías electroquímicas, que utilizan membranas selectivas de iones ofrecen nuevos enfoques desde lo económico, y con el cuidado ambiental [31]. Lo más importantes de estos nuevos enfoques son: la síntesis de óxidos metálicos en una cámara de electrolizador, la electrosíntesis de sistemas catalíticos complejos, que normalmente se obtienen por coprecipitación, la modificación de propiedades de la superficie y el volumen de los soportes y catalizadores por tratamientos electroquímicos, la preparación de los soportes con propiedades estructurales y ácido-base deseadas, la modificación de las propiedades ácido-base de zeolitas y catalizadores que contienen zeolita, la electrosíntesis de geles de sílice y los soles de ácido silícico, etc. Un ejemplo destacado de la utilización de tecnologías de las áreas relacionadas con la ciencia de materiales es la aplicación del método Pechini (el método de usar precursores ésteres de tipo poliméricos) a la síntesis del catalizador, utilizado en la preparación de polvos cerámicos y películas delgadas.

En el método Pechini, un ácido  $\alpha$ - hidroxicarboxílico, por ejemplo, ácido cítrico, se utiliza para obtener complejos de los precursores de cationes [32]. Estos complejos se hacen reaccionar con un alcohol poliatómico, por ejemplo, etilen-glicol, para producir ésteres orgánicos y agua. El calentamiento de esta mezcla en la solución hace que se poliesterifique, y resulte una solución homogénea, en la que los iones metálicos son uniformemente distribuidos por toda la matriz orgánica. [33]. A continuación, la solución se calienta para eliminar el exceso de solventes.

A lo largo del libro podremos apreciar que la síntesis de catalizadores y materiales catalíticos usados como soporte, es una de las más antiguas en Colombia, y si datamos cuál pudo ser la primera patente, está en el área de síntesis y desarrollo de sólidos con actividad catalítica, con el trabajo de Restrepo y Escobar en

1879, por el uso de hierro como agente desulfurante en la fundición de oro y plata.

Hoy podemos apreciar que aún se utilizan en una proporción alta los métodos tradicionales aparecidos en los últimos 10 ó 15 años, algunos de los grupos emplean fundamentos teóricos y experimentales de la síntesis de sólidos porosos meso y macroporosos originando patentes de invención como la de Carlos Saldarriaga por la síntesis de una zeolita tipo beta hoy día obtenida en su mayoría por el método sol-gel a partir de alcoxidos, se cita además, en el libro del doctor Alberto Moya Mora *Inventos y patentes en Colombia 1930-2000*, colección Ciencia Tecnología y Sociedad, 2005, que en 1992 dio el origen de las patentes industriales, relacionadas con catálisis generadas por el químico Alfredo Oviedo uno de los pioneros de la catálisis en Colombia, concretamente en la Universidad Nacional, junto con Uriel Navarro, Alexander Trujillo y personal del Instituto Colombiano del Petróleo ICP, quienes desarrollaron trampas de vanadio para atenuar la pérdida de 7% del rendimiento en la producción global de gasolina, siendo obtenida la patente nacional en 1998 y la internacional en el año 2000. Sin embargo métodos en combinación con secado por fluidos supercríticos, métodos para la obtención de nanopartículas con manejo de diferentes intensidades de energía generadas por el espectro electromagnético son hasta ahora escasos. Lo que realmente hizo interesante la obtención de la patente de vanadio, es que fue una iniciativa en la parte fundamental catalítica, como en el conocimiento generado, por la Escuela de Postgrado naciente de la Universidad Nacional, pero adherido al proceso investigativo, la parte industrial por medidas de Ecopetrol a través del ICP, también fueron fundamentales los estímulos gubernamentales en el establecimiento con intercambios externos previamente concertados y dirigidos, en este caso con Bélgica, aunque el control sobre cada una de las fases fue totalmente nacional.

Otro de los puntos en que nos hemos detenido es la potencialidad en Colombia, para el desarrollo de la química fina con un nutrido

gremio que realizan investigación en química orgánica, productos naturales y síntesis orgánica, recordando que en los años veinte, con el advenimiento de la industria petroquímica, la Catálisis Heterogénea se desarrolló fuertemente y alcanzó un papel preponderante en la fabricación de productos petroquímicos y químicos de gran tonelaje “bulk chemicals”. Sin embargo, y a pesar de su potencial, los químicos orgánicos sintéticos continuaron con sus métodos tradicionales, relacionándose raramente con grupos de investigación dedicados al desarrollo y optimización de catalizadores. Un ejemplo que ilustra esta falta de interacción es la utilización de oxidantes como dicromato potásico, permanganato de potasio, dióxido de manganeso, etc. En el caso de la fabricación de hidroquinona, se preparaba tradicionalmente por oxidación de la anilina con cantidades estequiométricas de dióxido de manganeso para dar benzoquinona, que era reducida con hierro y ácido clorhídrico. A su vez, la anilina se producía a partir de benceno por nitración y reducción, y el proceso global generaba más de 10 kg de subproductos (  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$  ) por cada kilogramo de hidroquinona producida. No obstante, es posible en la actualidad producir hidroquinona a través de la autooxidación de p-diisopropilbenceno, seguida por la transposición del bishidroperóxido catalizado por ácidos. Este proceso produce menos de 1 kg de sales inorgánicas por kilo de hidroquinona [34].

Las causas que han hecho finalmente confluír a la catálisis y a la síntesis orgánica con el fin de desarrollar procesos más eficientes para la obtención de productos que, fabricándose en cantidades relativamente pequeñas, tienen un alto valor agregado que es lo que se conoce como química fina, son múltiples. Por una parte, muchas de las patentes de productos han expirado y, por lo tanto, pueden ser fabricadas por varias compañías, estableciéndose una fuerte competencia de precios. Esto ha obligado, a hacer procesos competitivos, desarrollar procesos más eficientes, los cuales muchas veces pasan por el diseño de mejores catalizadores con nuevas rutas de síntesis. Otra causa que ha motivado el acercamiento entre catalíticos y químicos orgánicos sintéticos

han sido las legislaciones medioambientales que limitan la cantidad y tipo de efluentes (ácidos de Lewis, sales inorgánicas, etc.), lo que obliga a desarrollar procesos más selectivos que permitan el reciclado (reutilización) del catalizador. Esta, el arma medioambiental, será la que en un futuro utilizarán las economías más desarrolladas y con tecnologías más avanzadas para seguir manteniendo su predominio sobre las economías menos avanzadas [35]. La investigación y desarrollo en el campo de la química fina difiere considerablemente de la química de gran tonelaje.

Los requerimientos para el éxito de un nuevo proceso industrial en química fina involucran no solo el costo de funcionamiento del proceso, como es el caso de la química de gran tonelaje (bulk chemicals), sino además, aspectos como el tiempo de mercadeo: se podría estar preparado para elaborar un producto por un período de tiempo largo o para un período corto. El tiempo de vida de muchos productos de química fina es menor que el de la química de gran tonelaje donde por veinte o cincuenta años son estándar. Sin embargo, algunos productos de química fina pueden ser tratados como productos de gran tonelaje debido a su alta demanda, la cual es más bien estable en el tiempo, como es el caso del ibuprofeno, usado en la industria farmacéutica, el mentol que es utilizado en la industria de perfumería, la vainillina como aromatizante. Otro aspecto importante en química fina es que el posible costo de investigación y desarrollo, es mucho menor respecto de la química de gran tonelaje.

Así, en este nuevo milenio se prevé que los productos obtenidos por química fina tendrán un valor agregado muy superior, aunque su producción sea mucho menor comparados con aquellos obtenidos por química de gran producción. La tendencia en catálisis en lo referente a procesos que utilizan catalizadores sólidos para la obtención de productos de química fina se percibe en varios campos. Por ejemplo, en la catálisis ácida, el sustituir los catalizadores ácidos convencionales del tipo  $H_2SO_4$ , HF,  $H_3PO_4$ ,  $BF_3$ ,  $AlCl_3$ ,  $AlBr$ ,  $SbF_5$ , etc. asociados a los problemas medioambientales,

por catalizadores ácidos sólidos. Estos deben comportarse como ácidos Brønsted y/o Lewis y, por tanto, deberán ser capaces de donar un protón y/o aceptar un par de electrones. Además, su fuerza ácida deberá ser regulada para poder llevar a cabo la reacción deseada. Como ejemplo de estos sólidos ácidos para aplicar en química fina se encuentran: los heteropoliácidos usados eficientemente en hidratación de propileno a isopropanol [36], evitando el uso de  $H_2SO_4$ . También, importantes cambios se han observado en adiciones de alcoholes a olefinas [37] para llevar a cabo la reacción de isobuteno con metanol y formar metil-terbutil éter (MTBE) con conversiones del 85 % y selectividades del 100%, en alquilaciones de aromáticos del tipo Friedel-Crafts donde los compuestos aromáticos son alquilados con cloruro de benzoilo o anhídrido benzoico para dar 2 y 4 toluil-fenil-metano [38]. Otro ejemplo lo proporciona la reacción de Prins [39] para formar isopreno a partir de isobuteno y formaldehído, la catalizada por heteropoliácidos que contienen Mo, W y V soportados sobre sílice-alúmina.

Otras reacciones de interés son la obtención de trioxano a partir de formaldehído, la conversión de metanol a olefinas e hidrocarburos, reacciones de esterificación y formación de glicóxidos, etc. La obtención de superácidos de metales sulfatados, obtenidos por Tanabe en 1970 por tratamiento de óxidos de Zr, Fe, Ti, etc [40] con  $H_2SO_4$  o  $(NH_4)_2SO_4$  permite obtener catalizadores con alta fuerza ácida, usados en reacciones de craqueo, hidrocrqueo, e isomerización de parafinas de cadena cortas y alquilación de isobutano con buteno [41]. En el campo de la química fina, los catalizadores de  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , y  $Al_2O_3$  promovidos con sulfatos son capaces de alquilar benceno con propileno a temperaturas de 20-100°C [42]. Estos superácidos podrían, en principio, sustituir a ácidos de Lewis del tipo  $AlCl_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $TiCl_4$ ,  $SnCl_4$ , etc. en reacciones de acilación que son de particular importancia para la obtención de intermediarios en el sector farmacéutico y de pesticidas.

Otras aplicaciones son: deshidratación de alcoholes, isomerización de doble enlace de olefinas, esterificación de ácido tereftálico, polimerizaciones de esteres, etc [43]. Las zeolitas, que son aluminosilicatos cristalinos microporosos en donde la carga negativa generada en los aluminios tetraédricos de la red, es compensada por cationes, proporcionan una familia muy interesante de sólidos con propiedades catalíticas. En particular, si estos cationes son reemplazados total o parcialmente por protones, se pueden generar sólidos con acidez controlada a voluntad, en términos de fuerza ácida y cantidad de sitios. Entre las aplicaciones de las zeolitas ácidas están: isomerizaciones de doble enlace, alquilaciones de aromáticos, fenoles y aminas, acilaciones, isomerizaciones de alquilaromáticos, hidrataciones de olefinas, deshidrataciones de alcoholes, isomerizaciones de sistemas saturados, funcionalización de moléculas con heteroátomos, reorganizaciones de acetales cíclicos y últimamente se han comenzado a usar nuevos materiales zeolíticos formados por canales paralelos con diámetros hasta de 100 Å, más concretamente materiales del tipo MCM-41[44-45], que han demostrado tener acidez de fuerza media, cuando se incorpora aluminio a la red. Estos sólidos se han utilizado exitosamente en la formación de acetales y dimerización de olefinas. Por otro lado, se amplía su aplicación a reacciones de química fina en que intervienen moléculas voluminosas y que por su tamaño estaban impedidas de penetrar a través de los canales de zeolitas convencionales.

En el campo de las reacciones de oxidación, metales y complejos organometálicos han sido usados tradicionalmente en química fina. Sin embargo, restricciones medioambientales tienden a desplazar al Mn, Cr, V, etc. hacia catalizadores sólidos que puedan funcionar en sistemas heterogéneos que permitan su fácil separación y reciclado.

Desde el punto de vista de los agentes oxidantes, en procesos de gran tonelaje la tendencia es a utilizar oxígeno que es el oxidante menos caro. Sin embargo, en química fina este no es

necesariamente el criterio más importante ya que el valor añadido de los productos es más elevado. Esto permite una mayor variedad de agentes oxidantes tales como  $H_2O_2$ , hidroperóxidos orgánicos,  $NaClO$ ,  $NaClO_2$ , etc. En estos casos, la variable más importante es la disminución de residuos, la sencillez en manejo y operación y alto contenido en oxígeno activo. Desde este punto de vista, son muy importantes como oxidantes el  $H_2O_2$  y el hidroperóxido de terbutilo (HPTB), [34]. Las reacciones que ofrecen mayor interés desde el punto de vista de las oxidaciones selectivas son: oxidación de olefinas; de entre estos procesos cabe destacar la formación de epóxidos a partir de olefinas y alcoholes vinílicos, oxidación quimo y regio selectiva de sustratos aromáticos, oxidación de alcoholes usando catalizadores basados en Mo, V y Ti y utilizando  $H_2O_2$  o HPTB que son capaces de llevar de forma quimoselectiva la oxidación de alcoholes secundarios a cetonas [46].

En procesos de hidrogenación, metales másicos y soportados, óxidos másicos y soportados, complejos organometálicos másicos y soportados son los catalizadores empleados en química fina. Cualquiera que sea el tipo de catalizador usado, no cabe la menor duda de que el objetivo fundamental es la selectividad. En este sentido las tendencias van hacia conseguir hidrogenaciones selectivas de una función en presencia de otra u otras que sean más fácilmente hidrogenables. La hidrogenación catalítica selectiva de aldehídos alfa y beta insaturados es un ejemplo de reacción intracompetitiva, con aplicaciones importantes en la industria química. Su importancia industrial se debe a la aplicación de estos productos y sus derivados en la industria farmacéutica, de sabores y fragancias [47].

El citronelal y el citronelol [47] son ejemplos de productos apetecidos en la industria de la perfumería por sus olores agradables; el alcohol cinamílico por su valor como fijador en mezclas que contienen perfumes del tipo jacinto, jazmín, lila y rosa; el alcohol furfurálico por su uso como disolvente; el citral obtenido de la cáscara del limón (citrus limón) contiene la porción

oxigenada del aceite que da componentes de aroma y sabor, su uso y el de sus derivados geraniol y nerol se extiende en la industria de la perfumería, de colorantes, saborizantes y farmacéutica. [48].

La obtención de estos aceites esenciales se efectúa mediante procesos de destilación fraccionada, a elevados costos y bajos rendimientos para obtener productos de alta calidad, así, por ejemplo, el geraniol se obtiene por destilación fraccionada de los aceites de palmarrosa y geranio. El primero contiene un 60% y el segundo, un 20% como contenido máximo. Existen aproximadamente 300 productos naturales usados en la producción de saborizantes y perfumería, en donde el geraniol y el nerol son compuestos de partida.

La industria de perfumes, saborizantes, colorantes y la farmacéutica, crece en demanda de estos aceites esenciales.

Solamente en los Estados Unidos se importaron alrededor de U\$ 292 millones en aceites esenciales en 2005 (USDA, Tropical products report, March 2006) para su uso en compañías de bebidas, comidas, perfumería y farmacéutica y se espera que estas industrias crezcan alrededor de un 10% en los próximos cinco años (Herbs: An industry Overview; Marketing Development Branch, Saskatchewan Agriculture and food; reprinted January 2005). La hidrogenación selectiva de aldehídos alfa y beta insaturados tiene una gran importancia industrial para la disminución de costos de producción y obtención de nuevas tecnologías. G.A Somorjai y G.Y. Borodko en el 2001 expresaron que los catalizadores representan la aplicación comercial más antigua de la nanotecnología.

Sugieren que el foco de la investigación en catálisis en el siglo XXI, debe estar en lograr el 100% de la selectividad de la reacción para obtener el producto deseado, (con beneficios medioambientales y reducción de residuos tóxicos peligrosos). Los entes moleculares asociados con la selectividad, no están muy comprendidos en la actualidad. Por lo que las estructuras electrónicas y atómicas de nanoclusters deben ser investigadas como una función de su tamaño. Debido a la reestructuración fácil

de los agregados metálicos, bajo condiciones de reacción, estos deben ser caracterizados *in situ*. Se requiere desarrollar nuevos métodos sintéticos para producir partículas de catalizador con el mismo tamaño, estructura y localización sobre el soporte [49]. En consecuencia, es interesante buscar procedimientos alternativos en la obtención de estos productos; por lo que la hidrogenación selectiva de aldehídos alfa y beta insaturados tiene una gran importancia tanto industrial para la disminución de costos de producción y obtención de nuevas tecnologías, como científica en la comprensión y resolución de problemas que plantean estos estudios.

De acuerdo con esto, el doctor Watson Vargas de la Universidad de los Andes, quien cuenta con una experiencia de diez años en empresas e instituciones internacionales, considera que la dificultad está en el escalamiento de los procesos desarrollados en el laboratorio. Se toma de ejemplo el programa de biodiesel con cerca de quince años de desarrollo que, hasta el 2008, no registró ninguna patente de invención, pese a poseer una comunidad catalítica, fundamentada en la parte conceptual y básica, y escuelas de postgrado de buena calidad y reconocimiento internacional en índices, como Sapiens. Actualmente, los impactos de la catálisis colombiana son más académicos que industriales, se vende materia prima, que es manufacturada y procesada en América del Norte, Canadá o Asia.

## REFERENCIAS

- [1] Catalysis Letters Vol. 76, No. 3–4, 2001 2001 Plenum Publishing Corporation
- [2] Ma Z, Zaera F (2005) In: King RB (ed) Encyclopedia of inorganic chemistry. Wiley, New York, p 1768
- [3] Thomas JM, Thomas WJ Introduction to the principles of heterogeneous catalysis. Academic Press, London 1992
- [4]. Zaera F Prog Surf Sci 69:1(2001)
- [5] Woodruff, D.P., Delchar, T.A Modern techniques of surface science. Cambridge University Press, Cambridge (1994)
- [6] Nørskov, J.K., Bligaard, T., Rossmeisl, J., Christensen, C.H Nat Chem 1:37 (2009)
- [7] Somorjai GA Introduction to surface chemistry and catalysis, 2nd edn. Wiley, New York (2010)
- [8] Burda, C., Chen, X., Narayanan, R., El-Sayed, M.A Chem Rev 105:1025(2005)
- [9] Somorjai, G.A, Park, J.Y Angew Chem Int Ed 47:9212 (2008)
- [10] Zaera, F J Phys Chem B 106:4043 13. (2002)
- [11] Somorjai, G., Kliewer, C.) React Kinet Catal Lett 96:191(2009)
- [12] Mallat, T., Orglmeister, E., Baiker, A. Chem Rev 107:4863,(2007)
- [13] Ma Z., Zaera, F Design of heterogeneous catalysis: new approaches based on synthesis, characterization, and modelling, U.S. Ozkan edn. Wiley-VCH, Weinheim, p 113(2009)
- [14] Zaera F Chem Rev. doi:10.1021/cr2002068 (2012)
- [15] Nørskov, J.K., Bligaard, T., Hvolboek, B., Abild-Pedersen, F, Chorkendorff I, Christensen, C.H. Chem Soc Rev 37:2163. (2008)
- [16] Ueda, W.Catal Surv Asia 13:143–146(2009)
- [17] Understanding Catalysis Through Characterization and Synthesis of Catalysts: Gabor A. Somorjai Award and Symposium for Creative Research Top Catal 55:1–2 (2012)
- [18] Armor J What is catalysis? The North American Catalysis Society (NACS) <http://www.nacatsoc.org/what.asp> (2008)
- [19] Borekov, G.K., Geterogenyi, kataliz (Heterogeneous Catalysis), Moscow: Nauka, (1986).
- [20] Buyanov, R.A., Sib. Khim. Zh., no. 1, p. 5. (1991)
- [21] Dzis'ko, V.A., Osnovy metodov prigotovleniya katalizatorov (Principles of Catalyst Preparation), Novosibirsk: Nauka, (1983)

- [22].Frolov, V.M., Kurs kolloidnoi khimii: poverkhnostnye yavleniya i dispersnye sistemy (Colloid Chemistry: Surface Phenomena and Dispersions), Moscow: Khimiya,(1989)
- [23] Menon, P.G. Delmon, B., Handbook of Heterogeneous Catalysis, Ertl, G., Knozinger, H., and Weitkamp, J., Eds., New York: Wiley, vol. 1, p (1997)
- [24] Fenelonov, V.B., Poristy uglerod (Porous Carbon), Novosibirsk: Inst. Kataliza, p. 301 (1995)
- [25] Jacobsen, H., Kleinschmit, P., Handbook of Heterogeneous Catalysis, Ertl, G., Knozinger, H., and Weitkamp, J., Eds., New York: Wiley, vol. 1, p. 94. (1997)
- [26]Gonzalez, R.D., Catal. Rev.Sci. Eng., vol. 36,1(1994)
- [27].Srinivasan, S.R. Davis, B.H., Platinum Met. Rev. 36, (1992)
- [28]Ryme, J., Ehret, G., Hilaire, L., Jiratová, K., Stud. Surf. Sci. Catal , vol. 143, p. 121 (2002)
- [29] Psaro, R., Recchia, S., Catal. Today, , vol. 41, nos. 1–3, p. 139 (1998).
- [30] Haruta, M., Kobayashi, T., Sano, H., Yamada, N., Chem. Lett. vol. 2, p. 405. (1987)
- [31] Romanova, R.G., Lamberov, A.A., Gibadullin, I.Kh., Shmelev, I.G., and Sopin, V.F., IV Rossiskaya konferentsiya s uchastiem stran SNG “Nauchnye osnovy prigotovleniya katalizatorov” (IV Russian Conf. on Scientific Foundations of Catalyst Preparation, with the Participation of Other CIS Countries), Novosibirsk, p. 164 (2000)
- [32] US Patent 3330697, (1967)
- [33] Simner, S.P., Wu, P-W., Dunn, B., J. Mater. Res. vol. 13, no. 4, p. 866. (1998)
- [34] Sheldon, R.A. Chem. Tech, 566 (1991)
- [35] Corma, A., Melo, F.V., Mendioroz, S... Fierro, J.L.G (Editors) Studies in Surface Science and Catalysis 130, pag. 167, Elsevier Science B.V. (2000)
- [36] Izumi, Y., Urabe, K., Onaka, M., in “Zeolite, Clay and Hetropolyacid in Organic Reactions”, Weinheim (1992).
- [37] DP6423 (1977); US Pat. 4, 259, 533 (1981).
- [38] Nomiya, K., Sasa, S., Miwa, M. Chem. Lett., 1075 (1980).
- [39] Jap. Pat. 4715 y 7177 (1962)
- [40] Tanabe, K., solid Acids and Bases, Their catalytic properties, N.Y. Academic Press (1970).
- [41] Seurell, M.S., Appl. Catal., 34, 109 (1987)
- [42] Nixon, W.G. US Pat. 3,402, 130 (1968).
- [43] Kayo, A., Yamaguchi, T., Tanabe, K., J. Catal., 83, 99 (1983)
- [44] Holderich, W.F., van Bekkum, H., Stud. Surf. Sci. Catal., 58, 631 (1991).
- [45] Kolodziejskiu, W.. Fornés, V., Corma, A .Solid State Nuclear Resonance, 2, 121 (1993).
- [46] Kurusu, Y., Masuyama, Y., Macromol, J. Sci. Chem., A24, 389 (1987)

[47] Court, J., Janati-Idrissi, F. Vidal, S., Wierzchowski, P .T. J. Chim. Phys. 87 379 (1990)

[48] Cerventy L., Ruzicka, V, Catal. Rev. Sci. Eng. 24, 503 (1982)

# CATÁLISIS EN COLOMBIA

Por

ÉDGAR ALBERTO PÁEZ MOZO

Profesor Emérito, Universidad Industrial de Santander.

## ANTECEDENTES

Se puede decir que el desarrollo de la química en Colombia parece una sinfonía inconclusa, en la que se han hecho muchos esfuerzos a lo largo de la historia que siempre se interrumpe por una u otra causa, dejando grandes iniciativas en el camino.

Hablando de la catálisis en Colombia, como antecedentes un poco anecdóticos es bueno recordar que en el siglo XVIII, en la época colonial, la Corona Española patrocinó varias expediciones científicas, que junto con las visitas de prominentes sabios alemanes y franceses, tuvieron enorme influencia en el desarrollo de la ciencia americana. Un hecho de gran impacto, especialmente para la catálisis, se relaciona con el descubrimiento del platino, dado a conocer en Europa en 1748 por don Antonio de Ulloa en su obra conjunta con Jorge Juan y Santacilia sobre su viaje a América con la comisión francesa de la Condamine. Se trata del trabajo sobre el aislamiento del platino, realizado sobre minerales extraídos y beneficiados en la región del Chocó en la Nueva Granada teniendo en cuenta las experiencias de mineros artesanales de dicha zona.

En la época colonial española se desarrollaron en el territorio del Nuevo Reino de Granada (hoy la República de Colombia) varios programas liderados por científicos españoles de renombre como José Celestino Mutis y Juan José D'Elhuyar y Lubice. Especialmente la venida a América en 1760 de José Celestino Mutis, médico y botánico español, quien vino como médico particular del virrey Pedro Messía de la Cerda, pero permaneció en la Nueva Granada porque entendió que aquí podría consagrarse como científico y así abrió las puertas a la ciencia en estas olvidadas tierras. Fue el gran iniciador y promotor del conocimiento científico, su obra gigantesca tiene un sitio de honor en la historia de Colombia y su recuerdo vive con enorme gratitud en el corazón de los colombianos.

Mutis propuso al rey de España, en 1763 desde Cartagena de Indias y luego en otras ocasiones, escribir la Historia Natural de América, pero como no obtuvo respuesta decidió iniciar por su cuenta ese trabajo. Allegó algunos fondos ejerciendo la medicina en Santafé y luego fundando empresas comerciales y mineras en La Montuosa (hoy Vetas), cerca de Bucaramanga y en las minas del Sapo, en las proximidades de Ibagué. En ambos intentos fracasó económicamente, aunque introdujo, junto con su socio Juan José D'Elhuyar, el método de amalgamación para la extracción de la plata. Desde la Nueva Granada, mantuvo una nutrida comunicación con científicos europeos, como Carlos Linneo, Carlos Alstroemer y Antonio José Cavanilles. Fue designado académico en Upsala y algunas de sus reseñas científicas fueron publicadas en revistas suecas.

Por solicitud de Mutis a la Corona, en 1783 el arzobispo- virrey Antonio Caballero y Góngora creó la Real Expedición Botánica del Virreinato del Nuevo Reino de Granada y el Observatorio Astronómico de Bogotá. Don José Celestino fue en la práctica un verdadero químico, por su conocimiento, su trabajo en minería, en el beneficio de minerales empleando procesos de fundición y amalgamamiento y por sus planteamientos y propuestas en la academia neogranadina.

Otro hecho de gran relevancia para la ciencia colombiana, es la venida a la Nueva Granada en 1783, de don Juan José D'Elhuyar y Lubice, científico español de muchos kilates. Don Juan José con su hermano Fausto descubrieron el elemento químico conocido como tungsteno, hecho de gran relevancia en el mundo de la química. Este trabajo fue realizado en las instalaciones de la Real Sociedad Vascongada de Amigos del País en la localidad guipuzcoana de Vergara, España. Juan José permaneció en América hasta su muerte en 1796, donde trabajó como Director de Minas del Virreinato de la Nueva Granada en la población de Falan en el Tolima, y en 1785 colaboró con Mutis estudiando diversos minerales. Posteriormente, estuvo a cargo de la planeación y adquisición de un laboratorio de química dentro del proyecto de Mutis. Fuera de su asociación con Mutis, D'Elhuyar vivió aislado y sin recursos humanos ni financieros que le ayudaran a sacar adelante su plan. Inicialmente fue encargado del proyecto “para el beneficio de los metales por fundición en el Real de Minas de la ciudad de Mariquita (Tolima), donde también trabajó en la maleabilidad del platino. En esta misión tuvo escasos resultados, debido a la ineficacia burocrática colonial y la falta de interés de la organización virreinal. Se casó con doña Josefa Bastida, tuvieron varios hijos, uno de ellos, José Luciano, fue un héroe de la independencia y ocupa un lugar de honor en la historia colombiana.

Mutis le dio a la Expedición Botánica la estructura de un sistema completo de investigación científica, cuya meta era el estudio y aprovechamiento de los recursos naturales del Nuevo Reino. La organización contaba con diferentes grupos especializados, entre los investigadores figuraban: Francisco José de Caldas, Sinforoso Mutis (sobrino de Celestino), Francisco Antonio Zea y Jorge Tadeo Lozano. Había un grupo de herbolarios o recolectores, un grupo muy grande de pintores especializados y contaba además con un grupo de adjuntos de administración. La entidad contaba con la casa de la botánica, el jardín botánico y el observatorio astronómico. Los trabajos geográfico-astronómicos estaban a cargo de Caldas, los zoológico-antropológicos a cargo de J. T.

Lozano y los botánicos de Mutis y así conformaron las secciones o capítulos de una “academia de ciencias” como lo describe José Antonio Amaya. Se había propuesto la creación de la cátedra de química y el establecimiento de un laboratorio de química en el Colegio del Rosario, adjunto a la Expedición.

Las actividades químicas habían sido encargadas a don Juan José D’Elhuyar, quién desgraciadamente murió en 1796 en la ciudad de Bogotá sin llegar a desarrollar esta función. Es lamentable que un sabio de la magnitud de D’Elhuyar no hubiera encontrado un terreno fértil para su producción científica en la Nueva Granada. Este es otro movimiento de la sinfonía inconclusa. Para reemplazar a D’Elhuyar se nombró a Jorge Tadeo Lozano, quien estudió literatura, filosofía, medicina y luego la carrera militar. Además, tuvo una formación avanzada en materia científica, estudió y se tituló en química, en el Real Laboratorio de Química de la Corte de Madrid (1792-1793). Retornó a la Nueva Granada en 1797 a encargarse del laboratorio cuyo equipamiento se había comprado en España pero nunca llegó a tierras granadinas.

Mutis formó un grupo de intelectuales que dejó huellas imborrables en la tradición del pensamiento científico neogranadino. Sus jóvenes discípulos laboraron en los proyectos mencionados y además abrazaron la causa de la independencia y tuvieron activa participación en el movimiento revolucionario, por lo que fueron fusilados casi todos, en la campaña de reconquista española, por el “pacificador” Pablo Morillo. Otro intérprete de la sinfonía inconclusa fue el químico J. M. Cabal, quien estudió química en Francia pero a su regreso al país, cuando se disponía a interpretar su partitura, también hizo parte del movimiento independentista y fue ejecutado.

Por su gran labor, debemos reconocer a don José Celestino Mutis como el fundador y el gran inspirador de la ciencia en Colombia

Desafortunadamente las guerras y las tormentas políticas interrumpieron la actividad creadora que apenas se iniciaba. Después de la independencia, los conflictos internos no permitieron

un desarrollo científico acorde con las necesidades de desarrollo del país. El interés por la química se manifestó con la creación de la Comisión Científica Permanente en 1823 o Misión Zea, que trataba de revivir la Expedición Botánica. A esta empresa se adscribieron varios químicos franceses y un químico e ingeniero de minas colombiano de nombre Mariano Rivero quién posteriormente fue director de la Escuela de Minas. Desafortunadamente la Comisión no llegó a dar frutos. Posteriormente en 1868 se fundaron en la Universidad Nacional, las Escuelas de Botánica, Minas y Química; la cátedra de Química fue desempeñada por el químico peruano Jean B. Boussingault.

En la segunda mitad del siglo XIX, aparece en el escenario nacional el químico Ezequiel Uricoechea, formado en Estados Unidos e Inglaterra, quien se destacó como investigador, maestro e inspirador de la juventud hacia el campo de la ciencia. Conformó un grupo de jóvenes que luego tomaron la bandera de la ciencia y no dejaron morir el entusiasmo, pese a las circunstancias tan adversas debido a los conflictos internos. Entre estos jóvenes se destaca el nombre de Rafael Zerda Bayón, químico investigador, inventor y gestor de empresas industriales. Desarrolló algunos instrumentos de precisión como una balanza óptica de prismas, patentó varios procesos industriales, entre estos la elaboración de extracto fluido o sólido aromático del café. Estos productos no tuvieron gran aceptación en el medio, pero irónicamente medio siglo más tarde llegaron al país productos similares que fueron comercializados con amplia aceptación por industrias transnacionales con patentes europeas.

Para dar respuesta a las necesidades de apoyo técnico a la industria, se creó la Escuela de Minas de Medellín a finales del siglo XIX. El geólogo Vicente Restrepo fundó un laboratorio para el estudio de minerales y metalurgia del oro y publicó el tratado *“Estudio sobre las minas de oro y plata en Colombia”*, de gran impacto en el campo de la minería. Alrededor de 1880 se desarrolló en Popayán una cátedra de química regentada por el profesor Éboli y en Tunja

otra similar con un laboratorio de Química Analítica que estuvo a cargo del profesor Charles Fisanne. Los anteriores constituyen una serie de esfuerzos, que crearon la inquietud científica y no deben ignorarse pues fueron la base de futuros desarrollos.

Llegado el siglo XX, hacia 1930, con el establecimiento de industrias para producción de cloro, de ácido sulfúrico, de cemento, de refinación de petróleo, explotación y beneficio de minerales, se creó una fuerte demanda de profesionales químicos. Por entonces floreció el pensamiento que reconocía que, “sin ciencia no se puede pensar en el desarrollo de un país”, lo cual motivó al presidente Eduardo Santos a impulsar la formación científica.

Los nubarrones oscuros de la política y la intolerancia crearon un clima de guerra en España y en Europa, que obligaron a muchos intelectuales a abandonar su patria. Esta situación permitió que ilustres científicos, ingenieros e intelectuales europeos llegaran al país. Entre estos, por invitación del presidente Eduardo Santos, un grupo de químicos españoles vino a Colombia y fundó la Escuela de Química en la Universidad Nacional de Colombia, dando lugar así al nacimiento formal de la Ciencia Química y en particular de la Catálisis Química en Colombia. En 1938, en el grupo de españoles venía el profesor valenciano Antonio García Banús, quién por esos años era una de las primeras figuras de la química en España, tanto que en 1937 fue candidato al premio Nobel en química. Las investigaciones de García Banús se centraban en el carbono trivalente y la hidrogenación catalítica. Lo acompañaban los profesores Rodolfo Low Maus y Enrique Murtra, entre otros.

En el sótano de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional, en el parque de los Mártires de Bogotá, se iniciaron las carreras de Química e Ingeniería Química, bajo la dirección de los mencionados científicos; el 30 de octubre de 1942, se graduó la primera promoción de químicos en Colombia. Posteriormente se graduaron con el título de doctor en química algunos de los egresados más brillantes de las primeras promociones de la Facultad de Química. Por ese entonces se crearon las asociaciones

profesionales, aparecieron en el país las primeras publicaciones en ciencias químicas y se fundó el Laboratorio Químico Nacional.

En la década de los años cuarenta las industrias, con grandes limitaciones y dificultades tecnológicas, sintieron la necesidad de crear centros motores para la generación de tecnología que respondieran a los retos del desarrollo. Es así como en 1945, en la ciudad de Cali se creó la Universidad Industrial del Valle del Cauca y, en 1948, en la ciudad de Bucaramanga, se fundó la Universidad Industrial de Santander, seguida de la fundación de las universidades del Atlántico en Barranquilla, de Caldas en Manizales y la del Cauca en Popayán.

La acción proactiva de estos grupos dio como resultado la creación del Instituto de Investigaciones Tecnológicas en los años sesenta, cuyo objetivo era modernizar y mejorar el nivel tecnológico del país, especialmente en lo referente al agro. Se abrió así el campo de investigación en química agrícola y en la química de los productos naturales, que rápidamente hicieron curso en la investigación universitaria. El Instituto de Investigaciones Tecnológicas pereció tempranamente y pasó a ser parte de la sinfonía inconclusa, precisamente en el año que se celebraba a nivel mundial el año de la Ciencia y la Tecnología. A finales de los años cincuenta se creó el Instituto de Asuntos Nucleares, donde se conformaron varios grupos de investigación que aportaron un buen número de publicaciones y ayudaron a la formación científica de jóvenes en diferentes disciplinas.

Como hemos visto, la química en Colombia es heredera directa de España en todas las épocas de nuestra historia, herencia que debemos reconocer y agradecer.



## LA CATÁLISIS EN COLOMBIA

Establecido el contexto histórico del desarrollo de la química en el país, miremos ahora en particular el desarrollo de la catálisis en Colombia. Aunque se dieron varios esfuerzos aislados de investigación en catálisis a partir del trabajo pionero de García Banús, este no tuvo la continuidad necesaria para perdurar. Parece que esta área tuvo un renacimiento formal en Colombia, gracias al esfuerzo del profesor Alfredo Oviedo en la Universidad Nacional de Colombia y del profesor Ángel Zapata de la Universidad del Valle en Cali, en la década de los años setenta.

El químico Alfredo Oviedo, después de recibir el título de doctor en la Universidad de Lovaina en Bélgica, formó un grupo de investigación en Catálisis Heterogénea en la Universidad Nacional, en el cual se han formado científicos, que hoy en día lideran varios grupos de investigación. Con la formación del grupo de investigación dirigido por el profesor Ángel Zapata, en la Universidad del Valle se dio inicio a la formación de especialistas y a la investigación en Catálisis Heterogénea en el Valle del Cauca.

La Universidad de Lovaina de Bélgica tiene una gran influencia en el desarrollo de la catálisis en Colombia. En la década de los ochenta se inicia un fuerte movimiento catalítico en todo el país y aparecen grupos muy entusiastas en las universidades de Antioquia y de Santander. A esto se agrega la creación del

Instituto Colombiano del Petróleo, en Bucaramanga, que genera amplias posibilidades de investigación y aplicación del campo de la catálisis. Hacia mediados de los años ochenta, Colciencias hace contactos internacionales con miras a establecer convenios, particularmente con Bélgica, Francia y Argentina. Gracias a estos convenios y al programa de becas de Colciencias se logró la formación de un importante número de investigadores, se creó el Grupo Nacional de Catálisis. Entre las actividades de este grupo se destacan la realización de varios simposios colombianos de catálisis: 1986 en Bucaramanga, 1988 en Medellín, 1990 en Bogotá, 1997 y 2007 en Bucaramanga y Medellín en el 2010. También se organizó, en agosto de 1998, en la ciudad de Cartagena de Indias, el XVI Simposio Iberoamericano de Catálisis orientado por Édgar Páez Mozo, Sonia Giraldo y Aristóbulo Centeno del Centro de Investigación en Catálisis de la UIS (CICAT). En este simposio con el liderazgo de Carlos Apesteguía de Argentina, como presidente se fundó la Federación Iberoamericana de Sociedades de Catálisis (FISOCAT).

Con la presencia de investigadores formados en el exterior, especialmente de la UCL de Bélgica, Francia, Estados Unidos, España, Brasil y Argentina, entre otros y con el soporte del programa de becas de Colciencias, el grupo catalítico colombiano creció tanto cuantitativa como cualitativamente, como puede verse con la aparición en el país de los programas de doctorado y la creación de diversos grupos de investigación ubicados en diferentes partes del país.

En 1990 fue aprobada la Ley de Ciencia y Tecnología con la cual se estructuró el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología. En esta década se iniciaron los estudios de doctorado en Química e Ingeniería Química, apoyados en los grupos que sustentan las diferentes líneas de investigación. Existen en la actualidad alrededor de treinta centros de investigación en catálisis en los cuales participan profesores, estudiantes de doctorado, de maestría y de estudios profesionales en Química, Ingeniería

Química, Metalurgia y Física, entre otros. En el año 2011 fue aprobada una nueva ley de Ciencia y Tecnología, al parecer con el soporte de una fuente de financiación estable, esperamos que permita la continuidad en el tiempo, necesaria para que la investigación científica deje de ser parte de la sinfonía inconclusa.

## FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ramiro Osorio O., Historia de la química en Colombia Public. Geol. Esp., Ingeominas, 11, pp1-122, Bogotá, Colombia. ISSN-0120-078X. (1982)
- [2] Regino Martínez-Chavanz, Germán Cubillos, Flor M. Poveda y José Luis Villaveces, Historia Social de la ciencia en Colombia, Tomo VI Física y Química, Tercer Mundo Editores, ISBN 9037-17-8. (1993)
- [3] [www.colciencias.gov.co](http://www.colciencias.gov.co) cvLAC, grupLAC.(2013)
- [4] Blanca Inés Prada Márquez, Las ciencias naturales en Colombia 1735-1967, panorama general. Sic Editorail, Bucarmanga (2007).
- [5] Palacios Remondo, Jesús Los Delhuyar. Logroño: Consejería de cultura, deportes y juventud. 482 págs. ISBN 84-8125-011-2, (1992).
- [6] Santiago Díaz Piedrahita, Matís y los dos Mutis, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Enrique Pérez Arbeláez N° 14, Bogotá (2000).
- [7] Santiago Díaz Piedrahita y Marietta Mejía de Mesa, Una etapa en el desarrollo de la química en Colombia, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Consejo Profesional de Química, Colección Luis Duque Gómez-N° 2, Bogotá (2010).
- [8] Armando Gómez Ortiz y Claudia P. Cote de Sierra, Gestación y fundación de la Universidad Industrial de Santander, Ediciones UIS (1996).
- [9] José Celestino Mutis <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/mutis.htm> (2013)
- [10] José Antonio Amaya, Celestino Mutis y la Expedición Botánica, Ed. Debate/Itaca, Madrid, España. (1986)
- [11] Jorge Tadeo Lozano, Biblioteca Virtual Luis Ángel Arango <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/biografias/lozajorg.htm> (2013)



# CAPÍTULO 1

## DESARROLLO HISTÓRICO DE LA CATÁLISIS HETEROGÉNEA EN LA ZONA ANDINA

Q. D.Sc. Luis Alfredo Oviedo Aguiar

Profesor Emérito Universidad Nacional de Colombia

A mi regreso al país en 1972, después de obtener el doctorado en la Universidad Católica de Lovaina-Bélgica, con la tesis titulada “*Deshidrogenación catalítica de alcoholes*” dirigida por el profesor J.C. Jungers, director del Centro de Catálisis de la Universidad Católica de Lovaina y director Científico de la investigación del Instituto Francés del Petróleo, inicié en la Sección de Fisicoquímica del Departamento de Química, la construcción de un laboratorio para la síntesis de catalizadores, la caracterización parcial de catalizadores y el desarrollo de proyectos de investigación en el área de Catálisis Heterogénea, dirigidos inicialmente a estudiantes de la carrera de química. La creación del laboratorio se inició en 1973 en el espacio físico identificado como N.108, cedido por el Departamento de Química, con el apoyo económico de la Facultad de Ciencias para construir las líneas de alto vacío, el sortómetro para la determinación de áreas superficiales de sólidos adsorbentes y la determinación de la porosidad. Simultáneamente

se construyeron en ese sitio los montajes estáticos y dinámicos para la caracterización parcial de catalizadores y para la hidrogenación y deshidrogenación de alcoholes como metanol, etanol, isopropanol e hidrogenación de aldehídos, olefinas y de ácidos grasos, sobre catalizadores de cromitos de cobre, óxidos de zinc y níquel, puros y soportados en sílice y alúmina. La primera tesis de grado en Catálisis Heterogénea para obtener el título de químico fue *“Utilización de un catalizador de cromito de cobre en la deshidrogenación de alcoholes”* que se desarrolló con los estudiantes Carlos Baldrich Ferrer y Uriel Navarro Uribe, trabajo distinguido con la mención de laureado.

La implementación y puesta en marcha de estas instalaciones y las primeras tesis de grado que se presentaron en el Departamento de Química, permiten decir que este laboratorio es el pionero del desarrollo de la Catálisis Heterogénea en Colombia. Es importante resaltar que los equipos con que se iniciaron las investigaciones en este laboratorio fueron diseñados y construidos por el profesor Luis Alfredo Oviedo Aguiar, con materiales cedidos por la Facultad y componentes que había traído a su regreso al país.

Además, con el desarrollo de esta línea de investigación se propuso y se logró incorporar en el pènsu de la carrera de química, el curso de Catálisis Heterogénea, área que era completamente desconocida en nuestro medio y que permitió la formación de los primeros químicos en este campo del conocimiento y que posteriormente fueron vinculados a Ecopetrol en su laboratorio de investigación.

El nivel de desarrollo alcanzado en esta etapa inicial permitió en primer lugar que COLCIENCIAS aprobara y financiara el proyecto de investigación “Programa Nacional de Catálisis I”, que tenía como propósitos:

1. Dotar al laboratorio de equipos de alta precisión para el control de reacciones, de los productos de reacción, y de las materias primas para ser autosuficientes en la determinación

de todos los parámetros que rigen y controlan las reacciones en la superficie de un catalizador.

2. Elevar el nivel de los estudios teóricos y prácticos de los estudiantes de Catálisis Heterogénea a nivel de grado y postgrado (maestría) y apoyarlos económicamente en el desarrollo de sus trabajos de investigación.
3. Establecer vínculos de apoyo con universidades extranjeras para que algunos de los estudiantes de postgrado pudieran viajar a desarrollar experimentos que aún no era posible realizar en Colombia.

Durante la presidencia de Belisario Betancurt Cuartas, se financió y se puso en marcha la Segunda Expedición Botánica, donde presenté, en 1984, un proyecto para la construcción de un edificio para la Catálisis Heterogénea que fue aprobado conjuntamente para que fuera sede de la investigación, además de catálisis, de carbones, de bioquímica y química orgánica.

Las instalaciones de catálisis estaban constituidas por cuatro laboratorios, oficinas para los cinco profesores que en ese momento hacían parte del grupo de Catálisis Heterogénea, un aula de clase y un salón para los estudiantes de grado y de postgrado que trabajaban con los distintos profesores integrantes del grupo.

En 1986, los profesores, doctor José Luis Villaveces Cardozo, investigador principal del área de Química Teórica, doctor Luis H. Blanco Castañeda, investigador principal del área de Termodinámica de Soluciones, y el doctor Luis Alfredo Oviedo Aguiar, investigador principal del área de Catálisis Heterogénea, teniendo en cuenta el grado de desarrollo alcanzado en cada una de estas áreas a nivel teórico y experimental, y apoyados en la experiencia lograda en la investigación y formación de estudiantes a nivel de grado y de magíster en las carreras de química, ingeniería química y química farmacéutica, decidimos presentar la propuesta del Doctorado en Ciencias Químicas, la cual fue aprobada en 1986 e inició sus actividades académicas en 1987, constituyendo así los

primeros programas de doctorado que se ponían en marcha en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia.

A partir de 1975 fueron surgiendo otros grupos de investigación en catálisis en la Universidad del Valle, en la Universidad de Antioquia, en la Universidad Industrial de Santander; así mismo, en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia con quienes interactuamos permanentemente. Particularmente debo destacar que el grupo de Catálisis Heterogénea del Departamento de Química, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia asesoró en el aspecto teórico y experimental al profesor Bolívar y a su grupo en la iniciación de la investigación en catálisis heterogénea en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Así mismo, en colaboración con el Departamento de Ingeniería Química, el profesor Francisco José Sánchez Castellanos, hizo un proceso de transferencia científica y tecnológica de equipos y metodologías para la caracterización de catalizadores a las Universidades Pontificia Universidad Católica del Perú (PUC) en Lima, la Universidad Mayor de San Marcos de Lima (UNMSM), la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

En 1989 con el apoyo de COLCIENCIAS, y la coordinación del doctor Francisco Vega, se realizó el primer encuentro de los investigadores de los distintos grupos que estaban trabajando en catálisis en el país, con un grupo de profesores belgas de las universidades Católica de Lovaina (área flamenca) y Católica de Lovaina la Nueva (área francófona), con el propósito de presentar el grado de desarrollo alcanzado por cada grupo y evaluar el nivel de las investigaciones en Colombia. En este evento tuve la oportunidad de presentar junto con mis estudiantes algunos de los trabajos y la estructuración y desarrollo del laboratorio de Catálisis Heterogénea y fui favorecido para enviar a uno de mis estudiantes a realizar el doctorado en la Universidad Católica de Lovaina la

Nueva, la seleccionada fue Sonia Moreno, quien había realizado como trabajo de grado junto con Rafael Molina, el trabajo “*Síntesis y caracterización de zeolita tipo H<sub>2</sub>SM-5 para la conversión del metanol a hidrocarburos en el rango de la gasolina*”. Con el proyecto “Programa Nacional de Catálisis I” financiado por COLCIENCIAS, se realizaron a partir de 1982 y hasta 1990 las tesis bajo mi dirección, que se relacionan en la tabla siguiente.

**Tabla 3.**

Titulo del trabajo	Investigadores	Año
Caracterización de catalizadores de níquel para hidrogenación.	Fanny Guzmán Quimbaya y Jairo Nieto Castañeda	1982
Síntesis y caracterización fisicoquímica de catalizadores no soportados de cromito de cobre para la deshidrogenación de alcoholes.	Carlos Baldrich Ferrer y Uriel Navarro Uribe	1982
Acción del H <sub>2</sub> S sobre la actividad del níquel en procesos de hidrogenación a temperatura constante.	Alfonso Quijano Parra	1985
Caracterización del óxido de zinc como catalizador de deshidrogenación de alcoholes e influencia del método de preparación.	Jesús Sigifredo Valencia Ríos	1986
Influencia del carbonato de calcio en la actividad del óxido de zinc como catalizador de deshidrogenación de alcoholes.	Ángel María Martínez Herrera	1986
Síntesis y caracterización fisicoquímica de catalizadores de óxidos de zinc para deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona.	Ángel Martínez	1987
Obtención de anhídrido hexahidroftálico para aductos adhesivos sobre catalizadores de níquel. (Colaboración con la Universidad de América)	Gloria Sánchez	1988
Caracterización de catalizadores de óxido de zinc-carbonato de calcio utilizados en la deshidrogenación de metanol.	Gloria Inés Zambrano Sanabria	1988

Síntesis y caracterización de zeolita tipo H <sub>2</sub> SM-5 para la conversión del metanol a hidrocarburos en el rango de la gasolina	Sonia Moreno y Rafael Molina	1988
Forma de envenenamiento con azufre de un catalizador de níquel	Jorge Arturo Gómez	1989
Construcción y calibración de un equipo para el análisis de actividad de pequeñas muestras de catalizadores. 1. de craqueo. 2. de desaluminización.	Héctor Rafael Pérez Portillo	1989
Determinación de la cinética de la deshidrogenación del ciclohexanol sobre un catalizador mixto de óxido de zinc-carbonato de calcio.	Jairo Rincón Peláez Rincón y Ángela Mercedes Quiñones Castañeda	1989
Efecto de la relación Si/Al en la actividad y selectividad de la zeolita ZSM-5	Martha Cely	1989
Estudio cinético de la deshidrogenación de metanol en régimen dinámico sobre un catalizador mixto de óxido de zinc y carbonato de calcio caracterizado en el laboratorio de catálisis	Clara Esperanza Trujillo G y Orlando Edison Torres M.	1989
Efecto inhibitorio de la acetona y ciclohexanona en la deshidrogenación de alcoholes.	Jesús Sigifredo Valencia Ríos	1990
Síntesis y caracterización fisicoquímica del catalizador de óxido de plata para la producción de acetaldehído a partir de etanol.	Gladys Rozo y Luis E. Riaño	1990
TRABAJOS DE MAESTRÍA		
Estudio de catalizadores, cinética para la oxidación selectiva de etanol a acetaldehído.	Francisco José Sánchez Castellanos	1989
Estudio de dehidrosulfuración del tiofeno sobre catalizadores de cobalto-níquel y níquel-molibdeno soportados sobre alúmina.	Carlos Alberto Baldrich Ferrer	1986

En 1990, en las instalaciones del laboratorio de Catálisis Heterogénea, del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias, se estructuró y dictó un curso práctico de caracterización de catalizadores a nivel nacional, para los investigadores en catálisis de los distintos grupos registrados en COLCIENCIAS. A

nivel internacional se coordinó y realizó un programa de pasantías para los investigadores en catálisis de distintas universidades peruanas como la UNI, la UNMSM, la UNT, la UNSAAC, la Nacional de Huancayo, la Nacional de San Cristóbal de Huamanga y el delegado de CONCYTEC.

En 1991, se presentó a COLCIENCIAS el proyecto “Programa Nacional de Catálisis Heterogénea II”, que fue aprobado y financiado, con los siguientes objetivos:

1. Consolidar el laboratorio de catálisis como centro de Catálisis Heterogénea, instalado en el tercer piso en un área de 400 m<sup>2</sup> del edificio de investigaciones, a que se hizo referencia anteriormente.
2. Promover y desarrollar los doctorados en el área de Catálisis Heterogénea.
3. Realizar convenios de cooperación con las universidades de renombre internacional en el área de catálisis, catalizadores y fenómenos de superficie.

Dentro de este proyecto se alcanzaron los siguientes logros:

Se establecieron convenios con,

Unité de Catalyse et Chimie des Matériaux Divisés, de la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica)

Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE), Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ).

Gestor del convenio de cooperación entre la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia y la COPPE/UFRJ.

**Tabla 4 Trabajos de investigación de pregrado y postgrado 1991-1990**

Titulo del trabajo	Investigadores	Año
Estudio cinético de la deshidrogenación de ciclohexano a benceno..	Juan Carlos Farfán	1991
Catalizadores de óxido de plata soportado sobre alúmina para deshidrogenación de metanol a formaldehído.	Aida Liliana Barbosa	1991
Estudio de la deshidrogenación de ciclohexano a benceno.	Martín Eduardo Núñez	1992
Modificación y evaluación de una tierra de diatomáceas como catalizador en la aromatización del ciclohexano.	Óscar Arturo Gerena Rojas	1992
Efecto del tiofeno y del H <sub>2</sub> S en la actividad de catalizadores de níquel no soportado.	Julio Angarita	1992
Caracterización fisicoquímica de catalizadores de ZnO soportado sobre sílice y alúmina para la producción de MEK a partir de 2-butanol.	Jesús Sigifredo Valencia Ríos	1992
Síntesis y caracterización de un catalizador zeolítico ZSM-12.	Hernando Escobar	1992
Efecto del oxígeno en la actividad de catalizadores de óxido de plata soportado sobre alúmina para la deshidrogenación de alcoholes.	Flor A. Vargas	1992
Evaluación de una tierra de diatomáceas nacional como soporte para catalizadores de níquel.	Luis Eduardo Vargas	1993
Síntesis y caracterización de una zeolita Y modificada por intercambio iónico e impregnación con platino.	Jorge Alberto Ostos Ortíz	1994
Síntesis y caracterización fisicoquímica de catalizadores de níquel soportado sobre sílice para hidrogenación de aceites comestibles.	Martha Nancy Calderón	1994
Síntesis, modificación con cobre y evaluación catalítica de zeolita Y (NaY, NH <sub>4</sub> Y, HY, CuY).	Ramsés López Quiñones	1994
Efecto del cromo en la actividad del cobre en la deshidrogenación de alcoholes.	Mónica Cuellar	1994

Efecto del vanadio sobre una zeolita USY comercial.	Nelly Fabiola Vera Bernal	1997
Síntesis y caracterización de una zeolita beta y su uso como catalizador en la producción de gasolina por alquilación	Adriana Pinzón Moreno	1998
Contribución al estudio del efecto del H <sub>2</sub> S sobre la estabilidad y actividad de un catalizador de Pt soportado sobre alúmina promovido por óxido de cerio.	Luz Piedad Sánchez Villarreal	1999
Diseño, montaje y puesta en operación de una unidad de extracción de soportes catalíticos	Omar Germán Malagón Ávila y Faustino Ortiz Romero	1999
Evaluación de la modificación de la acidez de zeolitas Y contaminadas con vanadio y tratadas térmicamente a 700°C.	Janeth Cuta Pérez	1999
TRABAJOS DE MAESTRÍA		
Estudio de la alquilación de isobutano con 1-buteno, con catalizadores zeolíticos.	Francisco José Sánchez Castellanos	1997
Evaluación de una zeolita Y modificada con platino y estudio cinético de la conversión de CO a CO <sub>2</sub> proveniente de motores de combustión interna. Colaboración con el postgrado de Química Ambiental de la Universidad de Antioquia.	Carlos Alexander Trujillo	1998
Relación entre la estructura y la actividad de catalizadores de óxido de zinc. (Tesis laureada)	Jesús Sigifredo Valencia Ríos	2001
Estudio del impacto de las condiciones de desactivación para simular a nivel de laboratorio las propiedades de catalizadores de equilibrio de ruptura catalítica. (Tesis laureada)	Uriel Navarro Uribe	2002
Contribución al estudio y análisis de las modificaciones morfológicas producidas en la matriz y/o en la zeolita y en un catalizador para FCC y de sus relaciones con el comportamiento catalítico.	Yasmín Yaneth Agámez Pertuz	2004
Contribución al estudio de los mecanismos de adsorción y de liberación de un péptido sintético sobre hidróxido de aluminio.	Mary Trujillo González	2004

En 1992 y dentro del marco del convenio COLCIENCIAS - CONCYTEC, para el desarrollo de la catálisis en el Perú, fui invitado a dictar una serie de cursos sobre Catálisis Heterogénea y desarrollo de catalizadores, y a colaborar en la conformación de grupos de investigación en catálisis en diferentes universidades peruanas.

En 1994, se dictaron cursos sobre fenómenos de superficies, a los integrantes de la sección de caracterización de catalizadores del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y se concretó la financiación por parte del ICP, de un programa para trabajar con zeolita, que culminó con una patente sobre trampas de vanadio, la que se negoció entre la Universidad Nacional y el ICP en 1997.

En el año de 1983, con el apoyo de COLCIENCIAS, el grupo de Catálisis Heterogénea del Departamento de Química, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, organizó y realizó el primer Simposio Nacional de Catálisis en las dependencias del Museo de Ciencias Naturales. En 1990, con el apoyo de COLCIENCIAS y en colaboración con el departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Colombia, se organizó y realizó el III Simposio Nacional de Catálisis, en las dependencias de los dos departamentos.

La mayoría de los trabajos desarrollados fueron presentados como ponencias en los congresos latinoamericanos de química, en los congresos nacionales de química pura y aplicada, simposios colombianos de catálisis, y simposios iberoamericanos de catálisis.

Después de mi retiro de la Universidad Nacional en 2002, el Centro de Catálisis Heterogénea quedó bajo la responsabilidad del grupo conformado por los doctores Jesús Sigfredo Valencia Ríos, Carlos Alexander Trujillo, Sonia Moreno G. y Rafael Molina.

El profesor de Ingeniería Química Luis María Carballo Suárez, pionero en el desarrollo de la catálisis en ingeniería en la zona Andina, junto con el profesor Carlos Sánchez y el profesor Emérito Alfonso Conde Cotes. El doctor Carballo actualmente jubilado pero activo en la Universidad Nacional, marcó el primer hito

importante para la maestría en Ingeniería Química en enero 28 de 1980, al aprobar el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional sede Bogotá, el primer programa de investigación de la Facultad titulado “Alcohol Química”. Este fue presentado por el Departamento de Ingeniería Química y con él se buscaba “otra fuente diferente del petróleo para producir combustibles a partir de la fermentación de productos agrarios”. Dentro de ese programa, se aprobó a su vez el primer proyecto de investigación de carácter científico en la Facultad: *“Desarrollo de catalizadores para la oxidación a ácido acético y deshidratación a etileno del alcohol etílico”*, cuyo investigador principal fue el profesor Luis Carballo Suárez, lo que indica que los grupos de la Universidad Nacional, fueron por más de tres décadas bandera de investigación en el área de catálisis y con fuentes de financiación en la misma universidad. El profesor Carballo, trabajó de la mano con el profesor Carlos Sánchez y el profesor emérito Alfonso Conde.

El profesor Carballo, remonta la iniciación del desarrollo de la catálisis heterogénea más involucrada con la ingeniería química, en nuestro país a principios de 1975, cuando se reunió una comunidad con la base conceptual y crítica para llevar a cabo un curso sobre reactores heterogéneos en la Universidad del Valle por parte del doctor Dejong, de la Universidad de Delft en Holanda. Allí se planteó por primera vez, por parte del profesor Dejong a los profesores universitarios asistentes al curso, la factibilidad técnica del uso del etanol, extraído a partir de la caña de azúcar, para la obtención de producto químico a través de procesos catalíticos.

Lógicamente se podría usar otro residuo agrícola para la obtención de etanol, el cual podría ser usado como combustible y producto químico normalmente derivado del petróleo. Se tocaron las puertas de Ecopetrol por esa época, ya que en sus plantas se utilizaban procesos catalíticos heterogéneos; pero su respuesta fue el desinterés en la producción de catalizadores, ya que todos los que utilizaban eran importados y creían que no fuera posible fabricar catalizadores en el país.

Teniendo en cuenta que la producción de petróleo en Colombia ha sido limitada y que se requiere la utilización de materia prima renovable para la producción de combustible y productos químicos, en la Facultad de Ingeniería Química de la sede Bogotá, se acogió esta idea y se planteó el primer proyecto de investigación formal, estructurado en 1979, utilizando el etanol que se producía en la planta piloto, a partir de la melaza de la caña de azúcar, para obtener productos químicos valiosos. Ideas complementarias surgieron y se presentaron a entes más grandes de financiación como Colciencias en 1980, que aprobó el proyecto presentado por Luis M. Carballo Suárez como investigador principal y Francisco Sánchez como coinvestigador, titulado “*Desarrollo de catalizadores para la oxidación de ácido acético y deshidratación del alcohol etílico a etileno*”. El desarrollo de este proyecto de investigación básica y aplicada permitió darle un gran impulso al área de la Catálisis Heterogénea en el departamento de Ingeniería Química, abrirles nuevos horizontes a los estudiantes de pregrado y construir un soporte para la creación de la maestría y el doctorado en Ingeniería Química. También dio origen al programa de Alcohol-Química en 1983, a través del cual se plantearon tres nuevos proyectos de investigación dirigidos por Luis M. Carballo, Francisco Sánchez y Alfonso Conde.

Es conveniente mencionar aquí, que por sugerencia de COLCIENCIAS, a través del doctor Vega alrededor de 1982, se impulsó la creación del Grupo Nacional de Catálisis con profesores de Química e Ingeniería Química de las principales universidades del país. Es así como se convocaron, por parte de Luis Carballo y Francisco Sánchez, desde la Universidad Nacional, sede Bogotá, a los profesores Ángel Zapata de la Universidad del Valle, Fanor Mondragón de la Universidad de Antioquia, Álvaro Ramírez, Aristóbulo Centeno, Edgar Páez Mozo de la UIS y Alfredo Oviedo de Química de la Universidad Nacional, sede Bogotá.

A este grupo inicial, que se reúne periódicamente, financiado por COLCIENCIAS dio origen el Simposio Nacional de Catálisis, a

este grupo se fueron añadiendo otros investigadores en catálisis heterogénea que se formaban en las universidades del país o en el exterior. Para mencionar solamente algunos, tenemos los casos de Aquiles Ocampo de la Universidad de Antioquia, Mario Álvarez de la Universidad Industrial de Santander (UIS). También se fueron vinculando otras universidades, tales como la Universidad Pedagógica de Colombia y la Universidad del Atlántico.

Vale la pena mencionar que a finales del siglo pasado se crearon programas de maestría y doctorado en Ingeniería Química y Química, en los cuales una de las líneas de investigación destacada era la catálisis heterogénea; la mayoría de estas universidades ya cuentan con una infraestructura para la investigación básica y aplicada en esta área, en cuanto a recurso humanos, con formación a nivel de Ph.D., además de recursos físicos (laboratorios y planta piloto), de información y documentación para la formación de investigadores y la capacitación de personal técnico, asesoría y servicio a la comunidad (sector productivo), hasta hoy, 2013.



## **CAPÍTULO 2**

### **CATÁLISIS EN LA REGIÓN ANDINA: DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

Elaborado por: doctora Gloria del Carmen Borda, Ms C. José Jobanny Martínez Zambrano y doctor Hugo Alfonso Rojas Sarmiento

#### **HISTORIA Y TRAYECTORIA DEL GRUPO EN INVESTIGACIÓN**

El grupo de investigación en catálisis de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en la ciudad de Tunja, inicio sus actividades en el año de 1987. Quienes lideraron las actividades preliminares fueron el doctor Rafael Bolívar Grimaldos, docente de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y el doctor Jaime Enrique Rojas Flórez, docente de la Escuela de Ciencia Químicas, nutridos por conversaciones con el doctor Alfredo Oviedo Aguiar quien les estimuló a construir el primer prototipo de un sorbometro, cuyos planos originales se remontan al equipo existente en la Universidad Nacional sede Bogotá. Una estructura gigantesca de vidrio de sumo cuidado que trabajaba bajo vacío.

Varios exalumnos de la Universidad que habían terminado estudios de posgrado en catálisis en el exterior, como Gloria del Carmen Borda Guerra, Carlos Alberto Medina, Hernando Carvajal y Hugo Alfonso Rojas Sarmiento, los cuales habían realizado estudios de maestría en química en el área de Catálisis en la Universidad Autónoma Metropolitana de México, propusieron un proyecto a Colciencias, el cual fue aprobado, denominado “*Síntesis de sales de metales platínicos y preparación de catalizadores*”, que tuvo una duración de cinco años (1987-1992). El proyecto permitió adquirir experiencia en el campo, se sintetizaron diferentes sales a partir de materia prima colombiana y se inició con alguna infraestructura para el grupo, representada en un equipo de cromatografía de gases y un espectrofotómetro ultravioleta visible.

Con este proyecto desafortunadamente no hubo continuidad, las actividades se retoman en el año 1997 al retorno del doctorado del profesor Hugo Alfonso Rojas de la Universidad de Concepción en Chile, donde trabajó bajo la dirección del doctor Patricio Reyes, pionero de la catálisis en ese país, el grupo sufre transformación de su visión gracias a sus gestores Hugo Alfonso Rojas y la doctora Gloria del Carmen Borda Guerra, lográndolo posicionar en la actualidad en categoría B, reconocido por Colciencias. El grupo tiene una amplia experiencia en las áreas de Catálisis Heterogénea, Homogénea y Enzimática, su mayor fortaleza se centra en Catálisis Heterogénea, en la síntesis y uso de catalizadores metálicos soportados en una gran variedad de procesos de interés industrial.

A partir de 2004, el énfasis de las investigaciones del grupo se centró en el estudio de catalizadores metálicos aplicado a la Química Fina, lo que lo lleva a un reconocimiento especial en esta área junto con la doctora Aída Luz Villa en la Universidad de Antioquia; en la escuela de Boyacá se han desarrollado en especial síntesis muy específicas que involucran las hidrogenaciones selectivas como, por ejemplo, de sustancias orgánicas que poseen en su molécula más de un grupo potencialmente hidrogenable, en la cual se desea hidrogenar de preferencia sólo uno de los enlaces

involucrados. Ejemplos relevantes, en los cuales los investigadores han logrado efectuar importantes contribuciones, corresponden a la hidrogenación selectiva de aldehídos  $\alpha$ ,  $\beta$  insaturados (crotonaldehído, cinamaldehído y citral), a partir de la síntesis de catalizadores monometálicos, tales como: Au, Ir, Pt o bimetálicos como Ir-Fe, Ir-Ge, Pt-Fe soportados en diferentes materiales ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o materiales con propiedades especiales que actúan en la reacción ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ). Este grupo sintetiza nanopartículas cristalinas de  $\text{ZrO}_2$  a partir de oxinitrato de zirconilo ( $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2$ ) por diferentes rutas; método solvotérmico, reflujo, precipitación homogénea y método de poli(acrilamida), caracterizando los materiales y estudiando sus propiedades catalíticas en reacciones de hidrogenación.

También han sintetizado con éxito materiales mesoporos de tipo Nb-MCM, que aparecen poco reportados en la bibliografía científica. Se ha concluido con estos estudios que la importancia de introducir Nb en la estructura del mesoporo, reside en la posibilidad de ajustar las propiedades reductoras y ácidas del  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , a la vez de la posibilidad de modificar su superficie y controlar la distribución de poro. En este sentido, el laboratorio ha desarrollado protocolos experimentales establecidos en el grupo de catálisis de la UPTC.

La magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ha recibido una considerable atención por parte del grupo, debido a sus propiedades magnéticas, estabilidad química, biocompatibilidad y baja toxicidad. Su uso como soporte catalítico presenta la ventaja de la fácil separación en procesos industriales. Se exploró la síntesis y caracterización de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y de  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ . Preparan la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) por pirolisis directa del gel etilenglicol-nitrato férrico. De otra parte se sintetizó el óxido mixto ( $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ ) por impregnación de  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  en sílice.

También estudió la hidrogenación enantioselectiva de p-metoxiacetofenona sobre catalizadores de Pt/ $\text{TiO}_2$  reducidos a alta temperatura (HTR=773K) modificados, con cinconidina (CD). Los catalizadores fueron caracterizados por fisisorción de  $\text{N}_2$ , quimisorción de  $\text{H}_2$ , DRX y XPS; se evidenció la presencia del

efecto SMSI que contribuye a la polarización de la molécula para dar el alcohol insaturado, las reacciones fueron llevadas a cabo en un reactor tipo tanque agitado (STR) a distintas concentraciones de CD. El efecto de la presión parcial de  $H_2$  y del modo de introducir la CD a la mezcla reaccionante también fue estudiado. A bajas concentraciones es posible obtener excesos enantioméricos cercanos al 30%. La estructura de la molécula puede influenciar el comportamiento obtenido.

Estudios cinéticos han acompañado varios de los sistemas desarrollados, con el uso de variables tales como: presión parcial de  $H_2$  en rangos determinados, diferentes intervalos de temperaturas de reacción y concentraciones iniciales de reactivo, apreciando en todas ellas su influencia. Se estableció un mecanismo de reacción para las reacciones, normalmente de hidrogenación, se muestra la dependencia de orden con respecto a la presión parcial de  $H_2$  y la concentración inicial de reactivo. Se estableció un mecanismo de reacción tipo Langmuir-Hinshelwood, se asumió la etapa limitante de reacción, y se determinó la correspondencia satisfactoria con los datos experimentales.

El apoyo de COLCIENCIAS a través de proyectos de investigación y las políticas de investigación de la Universidad, han permitido ir adquiriendo una adecuada infraestructura física y formación de talento humano permanente en el grupo, consolidándolo y fortaleciéndolo, apoyando la formación de profesionales altamente capacitados, así como la generación de conocimiento a través de productos de investigación.

Actualmente son mas de 15 integrantes: 4 docentes doctores, 3 magísteres, 3 estudiantes de semilleros, 3 estudiantes de maestría, 1 joven investigador Colciencias, Adicionalmente, 1 doctor como asesor nacional y 4 doctores asesores internacionales. La visión y misión del grupo poseen unos claros lineamientos que se detallan a continuación:

## **MISIÓN**

El grupo de Catálisis de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (GC-UPTC) tiene por misión contribuir a la generación de conocimiento científico en el campo de la catálisis aplicada a la química fina, a través de productos de investigación como publicación de artículos, presentación de trabajos en eventos científicos, apoyo a programas de pregrado y postgrado e interacción y cooperación con grupos de catálisis altamente reconocidos nacional e internacionalmente. El grupo de Catálisis busca consolidar el conocimiento a través de la incorporación de personal calificado (investigadores, estudiantes y personal de apoyo), lo mismo que incrementar su infraestructura física y tecnológica para cumplir con el logro de sus objetivos.

## **VISIÓN**

El grupo de catálisis (GC-UPTC) será reconocido a nivel regional, nacional e internacional como un grupo interdisciplinario dedicado al desarrollo de la catálisis en las líneas de catálisis heterogénea, homogénea y enzimática, con capacidad de adaptación y permanente actualización científica, abierto al vínculo estrecho con otros grupos de investigación para efectuar trabajos conjuntos y ser un fuerte apoyo a los programas de pregrado y postgrado de la UPTC.

## **LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

- Catálisis heterogénea
- Catálisis enzimática
- Catálisis homogénea

La estructura en recursos humanos con que cuenta el grupo es un investigador líder principal, coinvestigadores, profesores asociados con maestría, estudiantes de postgrado y pregrado, semilleros de investigación.

## **PERSONAL**

Director: Hugo Alfonso Rojas Sarmiento-doctor en Ciencias Químicas  
UPTC. hugo.rojas@uptc.edu.co

## **COINVESTIGADORES ACTUALES**

Gloria del Carmen Borda Guerra. Doctora en Ciencias Químicas  
Efrén de Jesús Muñoz Prieto. Doctor en Química UPTC  
José Jobanny Martínez Z.. Ms.C en Ciencias Química UPTC  
María Helena Grijalbo Ms.C. en Ciencias Química UPTC  
Julio César Castañeda Mancipe Ms.C. en Metalurgia y Ciencia de los Materiales UPTC  
María del Pilar Triviño Restrepo Ms.C en Química UPTC  
Jairo Antonio Cubillos Lobos doctor en Química UPTC  
Jesús Sigifredo Valencia Ríos. Doctor en Ciencias Químicas. Investigador Universidad Nacional de Colombia  
Patricio Alberto Reyes Núñez. Doctor en Ciencias Químicas. Investigador Universidad de Concepción – Chile.  
Gabriela Díaz Guerrero. Doctora en Ciencias Químicas. Investigadora Universidad Nacional Autónoma de México  
Norman Mauricio Marín Astorga. Doctor en Ciencias Químicas. Senior Research. Investigador Seton Hall University, Estados Unidos

## **ESTUDIANTE DE DOCTORADO ACTUAL**

José Jobanny Martínez Zambrano. Doctorando en Ciencias Químicas Universidad Nacional de Colombia.

## **ESTUDIANTES DE MAESTRÍA ACTUALES**

Diana Clemencia Guerrero Araque, estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental, Joven Investigadora  
Sonia Mancipe Estévez, estudiante de Maestría en Metalurgia y Ciencia de los Materiales  
Claudia Patricia Castañeda Martínez, estudiante de Maestría en Metalurgia y Ciencia de los Materiales

## **INTEGRANTES SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN ACTUALES**

Nancy Catalina Salamanca, Diego Nicolás Sánchez, Maira Isabel Alvarado, Lizbeth Vargas

**Tabla. Proyectos financiados de los últimos cinco años**

No.	Nombre del Proyecto	Entidad o empresa con la que trabajo el proyecto	Fecha
1	Hidrogenación selectiva de aldehídos $\alpha$ y $\beta$ insaturados utilizando catalizadores bimetálicos Ir-M	Uptc-Colciencias	2010-2011
2	Caracterización de los drenajes ácidos de minería de carbón (DAM) e implementación de una alternativa de tratamiento pasivo a escala piloto en la zona minera de Uniminas Guachetá, Cundinamarca	UPTC-Colciencias-U. Central	2009-2011
3	Síntesis quimioselectiva de M-Fenilendiamina mediante hidrogenación de M-Dinitrobenceno con el uso de catalizadores (Ir/SiO <sub>2</sub> y Pt/SiO <sub>2</sub> ).	DIN-UPTC	2009-2010
4	Desarrollo de compositos orgánico-inorgánicos usados para la inmovilización de catalizadores enzimáticos	DIN-UPTC	2009-2010
5	Catalizadores bi-funcionales para la obtención de la L-Mentol a partir de Citronelal	DIN-UPTC	2008-2009
6	Monocapas de óxidos mixtos de Ti-Si y Nb-Si como soportes de catalizadores de Ir: efecto del soporte, solvente y cinética en la hidrogenación selectiva de Furfural	DIN-UPTC	2007-2008
7	Hidrogenación de aldehídos $\alpha$ y $\beta$ insaturados sobre catalizadores metálicos soportados. Efecto de la modificación del soporte sobre la actividad y selectividad de la reacción.	Uptc-Colciencias	2006-2007

## ALIANZAS ACTUALES:

El Grupo de Catálisis ha logrado establecer alianzas estratégicas con universidades internacionales e institutos de investigación, se mencionan, entre otras:

- \*Universidad de Concepción – Chile,
- \*Instituto de Catálisis y Petroquímica de Madrid, España (CSIC)
- \*Grupo de Catálisis del Instituto de Física de la UNAM-México
- \*Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe. Instituto Nacional de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica, INCAPE.

Los grupos de catálisis de universidades nacionales como:

- \*Centro de Catálisis Heterogénea de la Universidad Nacional
- \*Grupo de Catálisis de la Universidad de Córdoba - Montería
- \*Grupo de Catálisis de la Universidad del Cauca.

**Tabla N. Principales artículos publicados en los últimos quince años**

Título del artículo	Revista	Categoría	Fecha
Hydrogenation of Citral over IrAu/TiO <sub>2</sub> catalysts. effect of the preparation method	Artículo aceptado Topics in Catalysis	A1	2010
Obtención de Isopulegol sobre catalizadores de Ir/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /SiO <sub>2</sub> . Aproximación cinética	Dyna	A1	2011
Kinetic behavior in the Hydrogenation of Furfural over Ir catalyst supported on TiO <sub>2</sub>	Dyna	a1	2010
Selective Hydrogenation of Furfural on Ir/TiO <sub>2</sub> catalysts	Química Nova	A1	2010
Obtención Catalítica de Alil alcohol	Bistua	C	2010
Kinetic study of the Hydrogenation of trans-Cinnamaldehyde over Ir/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> catalysts	Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia	A1	2010
Hidrogenación de Crotonaldehído sobre Catalizadores Ir/TiO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> .	Dyna	A1	2009

Hidrogenación de acroleína y crotonaldehído sobre catalizadores de Ir soportado	Dyna	A1	2009
Aplicación foliar de níquel en Cucurbita Ficifolia Bouché para producción de Ureasa (EC 3.5.5.1.5) Cristalina.	Agronomía Colombiana	A2	2009
Hidrogenación asimétrica de 4-Metoxiacetofenona sobre catalizadores de Pt/TiO <sub>2</sub> modificados con Cinconidina.	Revista Colombiana de Química	A2	2009
Aspectos generales SOBRE Inmovilización de enzimas	Prospectiva Científica	No indexada	2009
Liquid phase Hydrogenation of Citral and intermediaries over Ir/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> catalysts: kinetic study	Journal of Molecular Catalysis a-chemical	A1	2008
Enantioselectiva hydrogenation of Ethyl Piruvate in flow reactor over Pt-Cd/SiO <sub>2</sub> catalysts	Journal of the Chilean Chemical Society	A1	2008
Citral hydrogenation over Ir/TiO <sub>2</sub> and Ir/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> catalysts.	Catalysis Today	A1	2008
Hidrogenación de Furfural sobre catalizadores de Ir/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Estudio cinético	DYNA	A1	2008
Synthesis, characterization and catalytic behavior of the Ir/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /SiO <sub>2</sub> system in the citronellal hydrogenation.	Journal of the Chilean Chemical Society	A1	2008
Algunos aspectos de la síntesis y caracterización de óxidos mixtos de Ti-si y Nb-Si.	Prospectiva Científica	No indexada	2008
Cinética de la hidrogenación en fase líquida de Citronelal sobre catalizadores de ir sobre óxidos mixtos de Ti-Si.	Noticias Químicas	No indexada	2008
Partículas de platino soportadas en alúmina, titania y óxidos mixtos de alúmina/titania para la hidrogenación del Cinamaldehído.	Noticias Químicas	No indexada	2008
Hidrogenación de cinamaldehído con el uso de catalizadores de pt soportado.	Prospectiva Científica	No indexada	2008

The solvent effect in the hydrogenation of Citral over ir and Ir-Fe/TiO <sub>2</sub> catalysts	Journal of the Chilean Chemical Society	A1	2007
Hydrogenation of Citral on Ir/SiO <sub>2</sub> catalysts. effect of the addition of Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> on surface and catalytic properties	Reaction Kinetics and Catalysis Letters	A2	2007
Hidrogenación de citronelal sobre catalizadores de Ir/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> .	Revista Colombiana de Química	A2	2007
Obtención de alcohol furfúrico a partir de furfural sobre catalizadores de platino soportado.	SCIENTIA ET TECHNICA	C	2007
Hidrogenación de furfural sobre catalizadores de platino soportado en TiO <sub>2</sub> , Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , SiO <sub>2</sub> Y Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	Prospectiva Científica	No indexada	2007
Perspectivas futuras para el uso de catalizadores de ir en el proceso de hidrogenación de ácido oleico.	Prospectiva Científica	No indexada	2007
Eterificación de glicerol sobre Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> usado como catalizador	Prospectiva Científica	No indexada	2007
Mesostructured silicate as support for palladium catalysts in the production of alkenes from the semi-hydrogenation of Phenyl Acetylene and 1-Phenyl-1-Hexyne	Journal Molecular Catalysis a: chemical	A1	2006
Hydrogenation of citral over Pt and Pt-Fe/SiO <sub>2</sub> catalysts	Reaction kinetics and catalysis letters	A2	2006
Efecto del método de preparación de catalizadores de ir soportado en SiO <sub>2</sub> dopados con TiO <sub>2</sub> , reducidos a alta temperatura (HT), para la hidrogenación de Citral.	Ciencia en desarrollo	No indexada	2006
Estudio del efecto del soporte en sistemas catalíticos Ir/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> , (LT), Ir/SiO <sub>2</sub> e Ir/TiO <sub>2</sub> (HT Y LT) en la hidrogenación de 3,7-Dimetil-2,6-Octadienal (Citral).	Ciencia en desarrollo	No indexada	2006

Efecto de la fuerte interacción metal-soporte por el uso de diferentes soportes para la reacción de hidrogenación del Citronelal en sistemas Ir/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e Ir/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /SiO <sub>2</sub> .	Ciencia en desarrollo	No indexada	2006
hidrogenación de Citronelal en sistemas Ir/SiO <sub>2</sub> e Ir/TiO <sub>2</sub> estudio del efecto SMSI	Ciencia en desarrollo	No indexada	2006
ESTUDIO del efecto del soporte en sistemas catalíticos Ir/TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> (LTR), Ir/SiO <sub>2</sub> e Ir/TiO <sub>2</sub> (HTR Y LTR) en la hidrogenación de 3,7-Dimetil-2,6-Octadienal (Citral).	Ciencia en desarrollo	No indexada	2006
Hidrogenación selectiva de Citral en fase líquida sobre catalizadores Ir-Fe/TiO <sub>2</sub> reducidos a alta temperatura	Revista Colombiana de Química	A2	2005
Diseño y aplicación de un reactor tipo CSTR en reacciones de catálisis heterogénea	Ciencia en desarrollo	No indexada	2005
Modificación y evaluación catalítica de catalizadores de alúmina en fase gamma	Ciencia en desarrollo	No indexada	2005
Diseño y aplicación de un reactor tipo CSTR en reacciones de catálisis heterogénea	Ciencia en desarrollo	No indexada	2005
Producción de aceites esenciales en cultivos in vitro de tejidos vegetales	Prospectiva Científica	No indexada	2005
El cadmio en subsistemas de alimentos. Enriqueciendo nuestra base de datos regional	Ciencia en desarrollo	No indexada	2005
MoO <sub>2</sub> (ACAC) <sub>2</sub> immobilized on polymers as catalysts for Cyclohexene epoxidation. Effect of the crosslinking degree.	Journal of Applied Polymer Science	A1	2004
Catalytic epoxidation of Cyclohexene using Molybdenum complexes	Journal of the Chilean Chemical Society	A1	2004

Revisión sobre catalizadores de metales nobles soportados para reacciones de hidrogenación selectiva de aldehidos alfa, beta insaturados	Ciencia en desarrollo	No indexada	2004
El cadmio en el suelo y papa, cultivo regional	Ciencia en desarrollo	No indexada	2004
Obtención de guayaba deshidratada a partir del proceso de osmodeshidratación etanólica directa empleando miel de caña panelera	Ciencia en desarrollo	No indexada	2004
Empleo de resinas poliméricas como soporte de catalizadores $\text{MoO}_2(\text{ACAC})_2$ en la epoxidación de Diclhexeno	Prospectiva Científica	No indexada	2004
Revisión sobre metales nobles soportados en la hidrogenación de aldehídos $\alpha, \beta$ insaturados	Ciencia en desarrollo	No indexada	2004
Kinetic study of liquid-phase hydrogenation of Citral over Ir/TiO <sub>2</sub> catalysts	Applied Catalysis A-general	A1	2004
Effect of fe/ir ratio on the surface and catalytic properties in Citral hydrogenation on Fe-Ir/TiO <sub>2</sub> catalysts	Journal Molecular Catalysis a: chemical	A1	2003
Polymer-based catalysts for Toluene hydrogenation	Journal of Applied Polymer Science	A1	2002
Characterization of iron-doped titania sol-gel materials	Journal of Materials Chemistry	A1	2002
Liquid-phase hydrogenation of Citral over Ir-supported catalysts.	Journal Molecular Catalysis a: chemical	A1	2002
Utilización de la calorimetría diferencial de barrido en catalizadores de Ru, Cu, Y Ru-Cu soportados en sílice	Facultad de Ingeniería Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	No indexada	1996

Hidrogenolisis del n- pentano sobre catalizadores de Ru-Cu soportados	Facultad de Ingeniería Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	No indexada	1996
Método de gasificación del carbono en atmósfera de oxígeno utilizando catalizadores de Pd, CaCO <sub>3</sub> , BaCO <sub>3</sub> Y K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Facultad de Ingeniería Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	No indexada	1996

**Tabla N. Pasantías de investigación realizadas por integrantes del grupo**

<b>Nombre del pasante</b>	<b>Lugar (país y ciudad)de la pasantía</b>	<b>Tiempo de la pasantía</b>	<b>Duración (dd/mm/año)</b>
Hugo Alfonso Rojas Sarmiento	Universidad de Concepción- Chile	20 días	20 de junio -09 de julio 2006
Gloria del Carmen Borda Guerra	Universidad de Concepción- Chile	20 días	20 de junio -09 de julio 2006
Efrén de Jesús Muñoz	Universidad del Cauca- Colombia	8 días	21 de enero-29 de enero de 2010
Julio Cesar Castañeda Mancipe	Universidad del Cauca- Colombia	8 días	21 de enero-29 de enero de 2010
José Jobanny Martínez Zambrano.	Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México- Unam-México	30 días	12 de abril de 2010 - 9 de mayo de 2010
María Helena Brijaldo Ramírez.	Universidad de Concepción- Chile	38 días	1 de septiembre - 8 de octubre de 2010
Efrén de Jesús Muñoz	Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México- Unam-México, Universidad de Antioquia, Universidad de Concepción- Chile	Un año	A partir de marzo de 2010

**Tabla N. Pasantías realizadas por investigadores externos en el grupo**

<b>Nombre del pasante</b>	<b>Institución de procedencia</b>	<b>Actividades desarrolladas</b>	<b>Tiempo de la pasantía</b>	<b>Duración (dd/mm/año)</b>
Patricio Reyes	Universidad de Concepción-Chile	Investigación-curso reacciones de hidrogenación enantioselectiva	6 días	2 abril – 7 abril 2007
Gabriela Díaz Guerrero	Grupo de catálisis del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México-Unam-México	Investigación – conferencia en jornada de investigación UPTC	6 días	8 octubre – 13 octubre 2007
Antonio Gómez Cortés	Grupo de catálisis del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México-Unam-México	Investigación	10 días	27 octubre – 5 noviembre 2008
Simón Yunes	Senior research – Micromeritics	Investigación - curso Fisisorción y Quimisorción de gases para determinación de área específica	5 días	26 julio – 30 julio 2010
Patricio Reyes	Universidad de Concepción-Chile	Investigación	2 días	23 septiembre - 24 septiembre 2010
Norman Mauricio Marín Astorga	Senior Research - Seton Hall University Estados Unidos	Investigación-jornada de investigación	6 días	4 octubre – 9 octubre 2010

Jesús Arenas	Grupo de catálisis del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México-Unam-México	Investigación – curso “principios básicos de microscopia electrónica de transmisión (TEM)”	9 días	6 diciembre – 14 diciembre 2010
Simón Yunes	Senior research – Micromeritics	Investigación – curso equipo TPD-TPO-masas	5 días	10 enero – 14 enero 2011
Cecilia Lederhos	Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe. Instituto Nacional de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica INCAPE	Investigación – pasantía postdoctoral	46 días	2 julio – 15 agosto 2009
Cristian David Miranda Muñoz	Universidad del Cauca-Colombia	Investigación – pasantía pregrado	5 días	22 noviembre – 26 noviembre 2010
Gerson Eliad Benítez	Universidad del Cauca-Colombia	Investigación – pasantía pregrado	5 días	21 febrero- 25 febrero 2010

### **Equipos principales para el desarrollo de sus actividades de investigación:**

El grupo, para el desarrollo de sus actividades, cuenta con dos laboratorios debidamente adecuados en cuanto a instalación de redes eléctricas, con una estación de gases, que garantiza el desarrollo de las actividades de investigación bajo las normas de seguridad industrial; además, cuenta con equipos para el desarrollo de sus actividades, como:

- Cromatógrafo de gases "Varian 3400"
- Cromatógrafo de líquidos "HP series 1100"
- Espectrofotómetro UV-VIS para líquidos, Cromatógrafo de gases "Varian 380"
- Espectrómetro de masas
- Analizador automático de microporo y quimisorción Macromeritics "ASAP 2020", TPD-TPO-TPR- masas
- Macromeritics "Autochem 2920"
- Baño termostataado rotaevaporador
- Hornos de calcinación, planchas de calentamiento y agitación
- Reactores de alta presión para reacciones en fase líquida tipo Batch
- Montaje de reactor a presión atmosférica para reacciones en fase gas
- Controladores de temperatura, Ph- metro- ultrasonido.

## CAPÍTULO 3

### LA CATÁLISIS EN LA REGIÓN ORIENTAL. DEPARTAMENTO DE SANTANDER

Por

Édgar Páez Mozo., Fernando Martínez, Martha Niño y Sonia A. Giraldo.

En los años treinta, el gobierno de Colombia adoptó la política de industrialización del país, lo que motivó la creación de la Universidad Industrial de Santander (UIS). En su gestación intervinieron, entre otros, los ingenieros españoles Julio y José Álvarez Cerón. La Universidad contó inicialmente con las Facultades de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Química. En 1957, se da origen a la investigación con la llegada del científico español Juan Ramírez Muñoz, quien, en el seno de la Facultad de Ingeniería Química, conformó un grupo de investigadores muy calificado con quienes realizó trabajos que trascendieron los límites nacionales. El profesor Ramírez Muñoz organizó la División de Investigaciones Científicas, publicó muchos trabajos y un libro sobre Espectrofotometría de llama, que se conoció en toda la América y en Europa.

A finales de la década de los años sesenta se estableció, con participación de la UNESCO, la Maestría en Ingeniería Química, con lo cual se abrió un espacio muy importante para la investigación. En 1971, se inició el programa de Química en la UIS, con un enfoque

netamente científico encaminado hacía la investigación. En los años ochenta, se inició el programa de Maestría en Química y en la década de los noventa, surgieron los doctorados en Ingeniería Química, Física y Química apoyados por COLCIENCIAS, con lo cual la investigación científica recibió un fuerte impulso.

En 1986, se fundó el Centro de Investigaciones en Catálisis y Polímeros con el liderazgo de Édgar Páez Mozo, Álvaro Ramírez García, Sonia Giraldo y Simón Pardo. Algunos años más tarde, en 1996, la parte de catálisis se trasladó a la sede de la UIS en Guatiguará Piedecuesta, Santander y comenzó a llamarse Centro de Investigaciones en Catálisis (CICAT) .

La misión del CICAT es la de generar conocimiento científico sobre tecnologías catalíticas y/o catalizadores atendiendo las necesidades particulares del país. Dentro de este esquema se busca: Contribuir mediante la investigación a la formación de científicos dentro de los programas de maestría y doctorado y a la consolidación de la Red Nacional de investigadores en catálisis y proyectar y desarrollar líneas de investigación que respondan a las necesidades del país.

Con la llegada al CICAT de los científicos Aristóbulo Centeno H., Fernando Martínez O., Marta Niño G. y Ramiro Martínez, se logró consolidar un sólido grupo de investigadores, que se ha reflejado en la formación de un buen número de doctores, magísteres y profesionales en química e ingeniería química. Además, como producto de los trabajos de investigación del CICAT, se han realizado un número importante de publicaciones en revistas arbitradas internacionales y nacionales, participando en eventos internacionales y nacionales, y organizando varios eventos científicos. Toda esta producción ha hecho que el CICAT esté clasificado en categoría A1 por el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En el CICAT se desarrollan las siguientes líneas:

### 1. HIDROTRATAMIENTO

Desarrollo de catalizadores para el HDT profundo de diésel y nafta de craqueo y catalizadores para HDO de bioaceites.

Desarrollo de soportes y catalizadores de HDT, hidro craqueo y craqueo catalítico.

### 2. FOTOCATÁLISIS Y OXIDACIÓN SELECTIVA

Oxidación selectiva con catalizadores bioinspirados.

Desarrollo de fotocatalizadores para degradación de compuestos orgánicos.

Desarrollo de fotocatalizadores para aplicaciones en la salud humana.

### 3. OLEOQUÍMICA

Desarrollo de catalizadores sólidos de naturaleza básica o ácida para la transesterificación o esterificación de aceites vegetales.

Desarrollo de catalizadores para la transformación de aceites y sus derivados en compuestos de mayor valor agregado.

### 4. CATÁLISIS AMBIENTAL

Desarrollo de superficies autolimpiantes con base en la fotocatalisis.

Desarrollo de catalizadores y procesos para la purificación de aguas residuales industriales: transformación de compuestos refractarios a la biodegradación y remoción de metales. Desinfección de aguas.

Desarrollo de catalizadores tipo Fenton heterogenizados y biomiméticos en la oxidación, en medio acuoso de sustancias resistentes a la biodegradación (tetrasulfoftalocianinas intercaladas en hidrotalcita).

## 5.COOPERACIÓN CON OTROS CENTROS

### **CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ENFERMEDADES TROPICALES (CINTROP) de la UIS**

Dentro de la línea de quimioterapia se estudian compuestos fototóxicos (ftalocianinas y porfirinas anclados en nanotubos de carbono, nanopéptidos y titania) con los objetivos de desarrollar nuevos medicamentos y alternativas terapéuticas para enfermedades tropicales, como la leishmaniasis.

CHIROSCIENCES UMR 6263 CNRS ISM2, Université Paul Cézanne, Faculté des Sciences, St Jérôme, Marseille, France.

LACCO, Université de Poitiers, France

CATA, Université Catholique de Louvain, Louvain la Neuve, Belgique

Université Polytechnique de Louzanne, Suisse.

LAFLURPE, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brazil.

## 6. SERVICIOS Y ASESORÍAS

\*Caracterización de sólidos: Superficie específica, Volumen y diámetro de poros. Análisis TPR, análisis TPD.

\*Evaluación de catalizadores para hidrot ratamiento, oxidación selectiva e hidrogenación.

\*Cursos de postgrado sobre: Catálisis y procesos catalíticos, caracterización de catalizadores y tópicos avanzados en catálisis para el posgrado.

## 7. Grupos de investigación en la UIS relacionados

Centro de Investigaciones en Bioreguladores de bajo peso molecular CIBIMOL: Actividad antioxidante de compuestos orgánicos sintéticos, transformación catalítica de productos naturales: Refinamiento de aceites esenciales (química fina), modelamiento molecular

Grupo de Bioquímica Teórica.

Grupo de Investigación en Fisicoquímica Teórica y Experimental.

# CAPÍTULO 4

## LA CATÁLISIS EN LA REGIÓN CENTRAL. DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Aída L. Villa

Grupo Catálisis Ambiental, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.

alvilla@udea.edu.co

El objetivo de este trabajo es presentar las áreas relacionadas con la catálisis en las que han investigado los grupos de investigación de las universidades en Antioquia. El análisis se realizó a los grupos que presentan su información en la aplicación de Colciencias de GrupLAC, que han realizado proyectos y publicado artículos relacionados con la síntesis y caracterización de materiales y su utilización en procesos catalíticos, así como el estudio cinético, la modelación y el diseño de reactores para alguna reacción catalítica. La información que se presenta en esta contribución no corresponde a toda la producción de los grupos, ya que éstos trabajan en varias líneas de investigación y en algunos casos, no todas las líneas están relacionadas con el área de la catálisis.

La información general de los grupos se obtuvo principalmente de GrupLAC [1], consultada en los meses de marzo y abril de 2011; el año de la información más actualizada, para los grupos, varió entre

2005 y 2010. En el GrupLAC se presentan datos básicos, líneas de investigación, sectores de aplicación, artículos publicados, trabajos en eventos, capítulos de libro publicados, textos en publicaciones no científicas, organización de eventos, trabajos concluidos y en marcha de doctorado, maestría, pregrado e iniciación científica y proyectos.

Otras fuentes utilizadas fueron las páginas web de los grupos, aunque no existe para todos los grupos y no en todas aparece suficiente información. La Universidad de Antioquia es la entidad que presenta mayor divulgación sobre las actividades investigativas de sus grupos. Otras fuentes consultadas fueron la página web de Universia, el periódico Alma Máter, catálogos de investigación de la UdeA, catálogo de investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia (Medellín), de la Escuela de Ingeniería de la Universidad EAFIT. No se encontraron reportes de la reseña histórica de la mayoría de los grupos, ni en las páginas, ni en los catálogos de investigación consultados.

En cuanto a los grupos de investigación de universidades e instituciones universitarias antioqueñas que investigan en áreas relacionadas con la catálisis, de la revisión realizada, se encontró que la investigación en catálisis se adelanta en grupos de investigación en la Universidad de Antioquia, Universidad Nacional sede Medellín, Universidad EAFIT, Universidad de Medellín y en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. En la tabla 1 se presentan los grupos de investigación por universidad, su clasificación en Colciencias, las líneas de investigación, el año de creación y el nombre del coordinador. Cabe resaltar que en Antioquia no existen institutos que desarrollen investigación en el área de la catálisis. Se observa que se ha presentado un incremento en los grupos que realizan investigación en esta área en Antioquia, respecto al análisis publicado en el 2002, *“Catálisis en Colombia estado actual y oportunidades para el futuro”* [2], en el que por la visibilidad de los trabajos en catálisis se identificaron tres grupos: Catálisis Ambiental, Grupo de Química de los Recursos Energéticos

y Naturales y el Grupo de Ciencia de los Materiales, los tres de la Universidad de Antioquia.

**Tabla 1. Principales Grupos de Investigación en Antioquia que trabajan en el área de la catálisis.**

Grupo	Clasificación de Colciencias 2010	Líneas de Investigación	Año de creación	Coordinador(a)
Química de recursos energéticos y medio ambiente (QUIREMA) U. Antioquia	A1[3]	Catalizadores para la conversión de hidrocarburos Diseño, obtención y caracterización de materiales carbonosos y adsorbentes Reactividad y conversión de combustibles Reducción del impacto ambiental causado por el uso de combustibles fósiles	1982	Fanor Mondragón Pérez
Catalizadores y adsorbentes U. Antioquia	B [3]	Caracterización y determinación estructural Síntesis de nuevos materiales Uso de mallas moleculares en procesos	Carlos Saldarriaga Molina (1988 a 1992, abril de 1994 a enero de 2001) Aquiles Ocampo González (1993 a marzo de 1994) Adriana Echavarría Isaza (enero 2001 a la fecha)	8 octubre - 13 octubre 2007

Catálisis Ambiental, U. Antioquia	A1 [3]	Modelaje molecular Reducción de NOx y SOx Tratamiento de trazas de compuestos organoclorados esenciales Valorización y combustión del gas natural Utilización del CO <sub>2</sub> Valoración de aceites esenciales valorización y combustión de gas natural	1992	Consuelo Montes de Correa.
Ciencia de los Materiales (CIENMATE), U. Antioquia	A1[3]	Biodegradación y bioconversión de polímeros Optimización de la síntesis de colorantes Alimenticios Polímeros Síntesis, caracterización y aplicación de materiales porosos	1998	Betty Lucy López Osorio
Procesos Físicoquímicos Aplicados (PFA), U. Antioquia	A1 [3]	Ambiental: tratamiento y valorización de efluentes industriales Biocombustibles Diseño, optimización, simulación e implementación de procesos fisicoquímicos con aplicación industrial Ecoenergías Energía: biocombustibles, energía solar, valoración energética de subproductos Gasoquímica Materiales: semiconductores, polímeros, catalizadores heterogéneos Oleoquímica Procesamiento de sólidos y tecnología de partículas Procesos avanzados de oxidación Productos naturales Textiles	2000	Gloria María Restrepo Vásquez y Luis Alberto Ríos

Diagnóstico y control de la contaminación (GDCON), U.Antioquia	A1 [3]	Análisis de plaguicidas Calidad del agua Contaminantes emergentes en alimentos Gestión ambiental Microbiología ambiental Remediación de suelos Tecnologías avanzadas en el tratamiento de aguas Tratamiento biológico y fisicoquímico de aguas Tratamiento de residuos peligrosos	2000	Gustavo Antonio Peñuela Mesa
Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín Ciencia y tecnología de materiales U.Antioquia	A	Ingeniería de superficies Materiales naturales (fibras) Mecánica estadística y mecánica del continuo Nanotecnología y biomateriales Procesos catalíticos y obtención de energía	1999	Juan Manuel Vélez Restrepo
Termodinámica aplicada y energías alternativas (TAYEA), U.Antioquia	A	Desarrollo e implementación de nuevas alternativas energéticas Modelamiento y simulación de procesos Termodinámica avanzada	2002	Farid Chejne Janna
Ciencia de materiales avanzados.	D	Polimerización de olefinas mediante catálisis heterogénea Síntesis de materiales híbridos nanoestructurados	2005	Elizabeth Pabón Gelves

Universidad de Medellín Grupo de investigaciones y mediciones ambientales (GEMA),	B	Biotecnología aplicada al medio ambiente Calidad y alternativas de tratamiento del agua. Contaminación atmosférica y calidad del aire Geomática aplicada a los recursos naturales Hidráulica ambiental Planeación y gestión ambiental regional Sostenibilidad ambiental del territorio Tecnologías ambientales para la recuperación y conservación de suelos	2001	Gladis Estela Morales Mira
Universidad EAFIT Grupo de investigación en procesos ambientales y biotecnológicos (GIPAB)	B	Biotecnología vegetal Fermentaciones Procesos avanzados de oxidación Productos naturales	2000	Edison Hernán Gil Pavas
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid Química básica y aplicada a procesos bioquímicos, biotecnológicos y ambientales (QUIBA)	D	Biotecnología aplicada a procesos Gestión sostenible del recurso hídrico Química básica y aplicada a procesos bioquímicos, biotecnológicos y ambientales Química teórica y computacional	2003	Claudia Yaneth Sánchez Jaramillo

La universidad con mayor tradición en investigación en el área de catálisis es la Universidad de Antioquia, donde se encuentra el mayor número de grupos (6) y con mayor tiempo de realización de actividades de investigación en catálisis; en la Universidad Nacional se encuentran tres grupos y en las Universidades de Medellín, EAFIT y en el Politécnico un grupo. El grupo más recientemente

creado de los que trabajan en el área de la catálisis en Antioquia corresponde al Grupo de Ciencia de Materiales Avanzados, en la Universidad Nacional sede Medellín. Se observa que los grupos Catálisis Ambiental y Catalizadores y Adsorbentes son los grupos en los que todas sus líneas de investigación están estrechamente relacionadas con el área de catálisis.

De acuerdo con el análisis sobre las áreas de investigación de los grupos de catálisis publicado en 2002 [2], los investigadores en Antioquia realizaban investigación en descontaminación de corrientes gaseosas, química fina, síntesis y caracterización de materiales, carboquímica, fotocatalisis, degradación de polímeros, catálisis computacional, combustión catalítica e hidrogenación. De la tabla 1 se observa que además de estas líneas actualmente se realiza investigación en descontaminación de corrientes acuosas, biocombustibles, y olequímica. Los contaminantes que se buscan eliminar son los NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, pesticidas, organoclorados, orgánico volátiles; adicionalmente en las nuevas investigaciones se busca transformar el CO<sub>2</sub> en compuestos de valor agregado, obtener combustible de la biomasa y sintetizar materiales mesoporosos.

#### Grupos de la Universidad de Antioquia

1. Grupo Catálisis Ambiental. El objetivo general del grupo es aplicar tecnologías catalíticas para minimizar las emisiones de compuestos nocivos provenientes de fuentes fijas y móviles y diseñar procesos químicos benignos que contribuyan a reducir la contaminación del ambiente. Sus diferentes proyectos están enfocados a optimizar procesos, disminuir contaminantes y contribuir a la preservación de un ambiente menos contaminado; o sea, más sano, para el beneficio de la sociedad. Su misión es iniciar, coordinar y estimular investigaciones relacionadas con el uso de catalizadores eficientes para purificar el ambiente mediante la ejecución de proyectos de investigación aplicada y la diseminación de nuevos conocimientos a través de publicaciones y reportes a las entidades financiadoras. [4,5].

El grupo trabaja para contribuir al desarrollo de procesos más limpios, ya sea a través del tratamiento de los contaminantes una vez producidos o evitando que los contaminantes se produzcan [6]. Los proyectos realizados por el grupo están relacionados con la aplicación de catalizadores eficientes para purificar el ambiente y en la fijación de gases de invernadero como el dióxido de carbono, con el fin de obtener productos de alto consumo como carbonatos y aditivos para gasolina y diesel, entre otros. Adicionalmente, desarrolla catalizadores para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno y de azufre en fuentes fijas como incineradoras de residuos y hornos donde se fabrican vidrio o materiales cerámicos; en la transformación catalítica de aceites esenciales en productos de mayor valor agregado.

En el área de catálisis, el grupo realiza servicios en pruebas de microactividad de catalizadores para la reducción y descomposición de NO<sub>x</sub> a nitrógeno en presencia de agua y SO<sub>2</sub> y caracterización de catalizadores mediante técnicas de temperatura programada (TPR, TPD, TPO) y quimisorción acoplado a espectrómetro de masas. El grupo ha recibido distinciones meritorias para trabajos de investigación, dos distinciones *Suma Cum Laude* a dos tesis de doctorado y dos *Magna Cum Laude*. También el grupo recibió una distinción nacional en la categoría Ciencias del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible al trabajo: "*Catalizadores para el control de la contaminación ambiental. Fase II*", 2002, Fundación Alejandro Ángel Escobar [7].

El grupo ha realizado investigaciones [8] con instituciones académicas de Canadá, México, Argentina, España, Francia y Estados Unidos. Sus proyectos han estado financiados por la UdeA, el Ministerio de Agricultura, el SENA y varias empresas (Sumicol, Argos, Química Básica). Participa en convenios con el Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona (España), Universidad Nacional del Litoral (Argentina), Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas, La Plata, Buenos Aires (Argentina), Instituto de Ciencia de los Materiales,

Universidad de Sevilla (España), Universidad de Alicante (España), University of South Carolina, Columbia (USA), Universidad Autónoma Metropolitana (México), Universidad de Waterloo, Ontario (Canadá) y CYTED. El Grupo pertenece al Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinas Tropicales (CENIVAM), del que también hacen parte grupos de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Universidad Tecnológica del Chocó (UTCH), Universidad de Cartagena (UdeC), Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), el grupo de Infección y Cáncer de la UdeA y Fundacofan.

A 2009, en el área de catálisis en el grupo, se habían realizado cincuenta y cuatro trabajos de grado desde 1996, 15 trabajos de investigación en maestría y 11 en doctorado, ha publicado los resultados de sus investigaciones en revistas nacionales e internacionales, capítulos de libros y en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines.

Los primeros artículos publicados por el Grupo Catálisis Ambiental fueron en 1996, en temas relacionados con la descomposición y reducción de NO<sub>x</sub> y la combustión de metano. Posteriormente, se trabajó, además de en la reducción de óxidos de nitrógeno, en la oxidación de monoterpenos, apareciendo el primer artículo en este tema en 1998. El grupo ha realizado proyectos de investigación desde 1992 y los temas abordados en estos proyectos han sido en la producción de hidrógeno a temperatura alta, eliminación de compuestos organoclorados, dioxinas y furanos mediante hidrodechlorinación catalítica, tema de investigación en el que es pionero el grupo en Colombia; oxidación de principales componentes de aceites esenciales, producción de nopol, hidroxilación de fenol, desarrollo de sistemas catalíticos para la reducción de óxidos de nitrógeno, protección de catalizadores contra el envenenamiento con óxidos de azufre y óxidos de fósforo, reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> en motores diesel, reacciones de amoximación, reacción de desplazamiento de agua, deshidratación

catalítica de etanol a etileno, oxidación catalítica de diclorometano, producción de metil etil cetoxima. Los estudios del grupo se han relacionado con la síntesis y caracterización de materiales, estudios FI-IR *in situ*, estudios cinéticos, modelado de procesos de difusión y reacción, estudios teóricos, estudios de efecto de solvente.

Para las reacciones estudiadas en el grupo, se han utilizado zeolitas (Pd/Co en mordenita, Co-HMOR con Pd como promotor, Cu- y Fe-ZSM-5, H-MOR y H-ZSM-5 modificada con hierro y cobre, TS-1, zeolita L modificada con Co, Pd-mordenita, Pd-ZSM-5, Co-ZSM-5, Ti-Beta); materiales mesoporosos (Sn- y Zn-MCM-41, catalizadores tipo Jacobsen soportados en Al-MCM-41 y Si-MCM-41 modificada, Ti-MCM-41); resinas de intercambio iónico (PW-Amberlita); metales soportados en sílica (metaloftalocianinas soportadas en sílica) y en alúmina (Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); hidrotalcitas (Sn-keniaita, hidrotalcitas pilareadas con vanadio); metales soportados en zirconia (Pd/Co en zirconia sulfatada, Pd y Ni soportados en zirconia, Cu-ZrO<sub>2</sub>, Fe-ZrO<sub>2</sub>); membranas con paladio y cobre; monolitos con Pd/TiO<sub>2</sub> y metiltrioxorenio en fase homogénea.

2. Diagnóstico y Control de la Contaminación (GDCON). El objetivo del grupo es el diagnóstico y control de la contaminación de las aguas, el suelo y los alimentos, con énfasis en el agua [6]. En el grupo se realizan proyectos relacionados con el tratamiento biológico y fisicoquímico de aguas y desarrolla tecnologías avanzadas para su tratamiento. Este grupo fue creado con el fin de llevar a cabo proyectos en investigación y servicios técnicos en el diagnóstico y control de contaminantes en aguas, suelos, aire, residuos sólidos y alimentos produciendo nuevo conocimiento, formando estudiantes de pregrado y posgrado, y ofreciendo soluciones ambientales [5]. Como producto de la investigación realizada en el área de catálisis, el grupo generó un producto tecnológico piloto: un sistema de colector solar cilindro parabólico para la fotodegradación de colorantes empleando dióxido de titanio.

A 2010, en el área de catálisis, en el grupo se habían realizado cinco trabajos de grado desde 2000, cinco trabajos de investigación en maestría y uno en doctorado. El grupo ha publicado los resultados de sus investigaciones desde 1996 en revistas nacionales e internacionales, y en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines. El grupo ha realizado proyectos de investigación desde 1999 en la mineralización de contaminantes orgánicos con ultrasonido y fotoasistido por  $\text{Fe}_2^+$  y  $\text{TiO}_2$ ; estudios de degradación del clorotalonilo, de pesticidas (malatión, metomil, clorpirifos), bisfenol, antibióticos (flumequina), colorantes (naranja 84, azul de metileno, rojo amaranto),  $\text{Hg}_2^+$  y  $\text{Cr}_6^+$ , atrazina y aguas contaminadas con cianuro. En los procesos estudiados, han utilizado técnicas de fenton y fotocatalisis con dióxido de titanio y ZnO en suspensiones o inmovilizadas; degradación fotocatalítica asistida por irradiación UV o radiación solar o tratamiento integrado de ultrasonido-UV-hierro [9].

3. Ciencias de los Materiales. El grupo tiene como objetivo la obtención y caracterización de nuevos materiales y el mejoramiento de las propiedades de los existentes para distintas aplicaciones [6]. En la línea de investigación de "*Síntesis y caracterización de nanomateriales porosos y no porosos*", el grupo ha sintetizado sílicas mesoporosas para su uso en fase estacionarias y como soportes catalíticos. El grupo recibió el Premio a la Investigación UdeA 2003.

Las investigaciones realizadas en el área de la catálisis se han enfocado en el estudio de los materiales mesoporosos SBA-15, SBA-16, MCM-41, SBA-3 y carbones mesoporosos; se han estudiado sus características fisicoquímicas, morfología y porosidad, mecanismo de formación y aplicaciones en áreas como la separación cromatográfica y en reacciones de reformado de metano con dióxido de carbono, conversión de  $\alpha$ -pineno, procesos alcoquímicos para producir acetaldehído y sus derivados. Adicionalmente, se ha sintetizado nanopartículas de sílica, nanohíbridos de poliestireno/sílica, y nanotubos de carbono y silicato.

En el área de la catálisis, el grupo ofrece servicios [10] de análisis por espectroscopía ultravioleta-visible, análisis de dispersión de luz dinámico (DLS), calorimetría diferencial de barrido; espectrometría de infrarrojo, transformada de Fourier con celdas de transmitancia, analizador de área superficial y distribución de tamaño de poro, análisis termogravimétrico.

A 2010, en el área de catálisis, en el grupo se habían realizado siete trabajos de grado desde 1993, y uno en doctorado. El grupo ha publicado los resultados de sus investigaciones desde 1995 en revistas nacionales e internacionales, y en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines.

4. Procesos Físicoquímicos Aplicados, (PFA). El grupo PFA tiene como objetivo la investigación aplicada, apoyada en la investigación básica con la que se busca resolver problemas de la comunidad o de la industria [6]. En la línea de investigación de desarrollo de materiales, como los catalizadores, estudian desde las propiedades y el diseño de materiales hasta su aplicación final, pasando por los análisis sobre eficiencia técnica y económica, escalado y viabilidad ambiental. Los catalizadores son utilizados en producción de biodiesel, procesos avanzados de oxidación, transformación de productos naturales, oleoquímica y gasoquímica.

Este grupo desarrolla estudios e investigaciones de carácter tecnológico-científico que generan conocimiento útil y que contribuyen a la concepción, innovación y mejora de procesos productivos y de descontaminación ambiental; igualmente, que conduzcan a prevenir, solucionar y mitigar problemas y necesidades de la comunidad por medio de la aplicación de conocimientos interdisciplinarios y técnicas de ingeniería, orientados a la síntesis o transformación de materiales, diseño y operación de sistemas reaccionantes y la modelación, simulación y escalado de procesos [5].

El grupo PFA en el área de la catálisis ofrece servicios de análisis de difracción de rayos X, análisis termogravimétricos y térmico

diferenciales, análisis de composición química por absorción atómica y CHON, pruebas de microactividad de catalizadores, análisis infrarrojo de muestras sólidas y líquidas (FTIR), análisis ultravioleta visible de muestras sólidas y líquidas (UV/VIS). El grupo ha realizado actividades con las industrias PREMAC S.A., Empresas Públicas de Medellín, Andercol, COOPAGRINSA S.A. y con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

A 2009, en el área de catálisis, en el grupo se habían realizado trece trabajos de grado desde 2001, cinco de maestría y dos de doctorado. El grupo ha publicado los resultados de sus investigaciones desde el 2000 en revistas nacionales e internacionales, y en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines.

Ha realizado investigaciones, desde el año 1999, en el diseño de sistemas fotocatalíticos, el tratamiento de aguas residuales industriales por fotocatalisis heterogénea y acoplada con tratamiento biológico, combustión catalítica de gas natural, producción de aceites y grasas poli-hidroxilados; control de las emisiones de VOC's, dioxinas y furanos en incineradores; fotodegradación de pesticidas (malatión, metomil), metanol, colorantes (naranja de metilo), fenol y ácido fórmico; producción de biodiesel de aceite crudo de palma, hidrogenación de metil oleato; uso de glicerol para la producción de sílice mesoporosa; epoxidación de aceites vegetales. Los materiales utilizados en las reacciones han sido  $\text{TiO}_2$  impregnado en borosilicato, soportado en material reciclable combinado con fibras textiles,  $\text{ZrO}_2$ - $\text{SiO}_2$ , nanopartículas fotoactivas de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe-ZrO}_2$  y  $\text{Cu-ZrO}_2$ , sistemas de  $\text{N-TiO}_2$  co-dopados con iones Ag, Si, Se, V.

5. Catalizadores y adsorbentes. El grupo busca desarrollar nuevos materiales tipo malla molecular, los cuales son completamente caracterizados y se utilizan en procesos de intercambio iónico, adsorción y/o catálisis. Su objetivo principal es preparar, caracterizar y evaluar catalizadores y adsorbentes para nuevos procesos que permitan reducir el

costo de materias primas y mejorar el rendimiento de los mismos [5].

En el área de la catálisis el grupo ofrece servicios [10] de calorímetro diferencial de barrido (DSC), analizador termogravimétrico (TGA); análisis químico de carbono, nitrógeno e hidrógeno; análisis térmico diferencial, difractómetro de rayos, espectrometría de absorción atómica, base de datos difracción de rayos X ICDD PF-4 Full Text 2004 V. 3.03, síntesis de mallas moleculares microporosas tales como zeolitas (silicatos, aluminosilicatos), silicoaluminofosfatos, fosfatos de aluminio y óxidos microporosos de metales de transición, tales como Mo, V, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, Cu.

A 2009, en el área de catálisis, en el grupo se habían realizado diez y seis trabajos de grado desde 1997, seis de maestría y tres en doctorado. El grupo ha publicado los resultados de sus investigaciones desde el 2000 en revistas nacionales e internacionales, y en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines.

En las investigaciones que el grupo ha realizado desde 1999, ha sintetizado y realizado estudios estructurales de óxidos laminares de metales de transición, vanadatos de Zn y Cu; mallas moleculares tipo fosfato de hierro y/o cobre, hidrotalcitas trimetálicas, wolframita, libetenita, zincofosfatos y zincocromatos; molibdatos de Cu, Mn, Fe y Co. Los materiales sintetizados los han utilizado en la deshidrogenación de etilbenceno, deshidrogenación oxidativa de propano, oxidación total de tolueno, transformación de limoneno, oxidación catalítica de compuestos orgánicos volátiles.

6. Quirema (Química de Recursos Energéticos y Medio Ambiente). El grupo trabaja en la búsqueda de mejores formas de aprovechamiento de energía, reduciendo en lo posible esa contaminación generada por las emisiones de óxidos de nitrógeno y de azufre y por hollín [6]. Analiza aspectos fisicoquímicos relacionados con los derivados de la energía, el uso de combustibles fósiles y biocombustibles;

estudia el efecto de la adición de aditivos como el etanol sobre la formación de hollín durante la combustión, la valoración energética de glicerol y evalúa el uso de la energía solar almacenada en la biomasa. Los servicios que presta el grupo en el área de catálisis son: análisis próximo de materiales, determinación de parámetros cinéticos de reacción gas-sólido, área superficial y porosidad, reacciones a temperatura programada, análisis termogravimétrico (TGA), análisis de área superficial por adsorción de  $N_2(g)$  - método de cinco puntos, análisis de porosidad por adsorción-desorción de  $N_2(g)$ , análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC).

En el área de la catálisis, el grupo ofrece servicios [10] de catalizadores para la conversión de hidrocarburos, análisis termogravimétrico, calorimetría diferencial de barrido, espectrometría de infrarrojo con transformadas de Fourier con detector MCT, analizador termogravimétrico a alta presión. El grupo ha desarrollado un método para obtener catalizadores Ni/Ce/Mg-Al a partir de hidrotalcitas, producción de hidrógeno y nanotubos de carbono de la descomposición catalítica de etanol sobre  $LaNiO_3$  como precursor de catalizador.

A 2010, en el área de catálisis, en el grupo se habían realizado veinte trabajos de grado desde 1989, dos de maestría y cuatro de doctorado. El grupo ha publicado los resultados de sus investigaciones desde 1990 en revistas nacionales e internacionales, y en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines.

Ha realizado investigaciones en producción de biodiesel por transesterificación *in situ* a alta presión, almacenamiento de hidrógeno en hidruro de magnesio dopado con metales, producción de gas de síntesis, reformado y descomposición catalítica de metano o de bioetanol, eliminación catalítica simultánea de  $NO_x$  y  $SO_2$ , valoración del gas natural, reformado de metano, isomerización de butano y heptano, hidrogenación selectiva de alquinos, adsorción catalítica de  $NO$ , activación de  $CO_2$ , gasificación de semicoques

con  $\text{CO}_2$ , hidrogenación de aromáticos y craqueo de n-hexano. Los materiales que ha utilizado el grupo para las reacciones estudiadas son nanotubos de carbono, carbones activados, sólidos superácidos, sulfato de aluminio soportado sobre zirconia, complejos solubles de Ru y Os, monolitos de carbón activado, perovskita  $\text{LaNiO}_3$ , zirconia sulfatada,  $\text{Ni/ZrO}_2\text{-MgO}$ , óxidos mixtos  $\text{Ni/Mg/Al/Ce}$ ,  $\text{Ni/ZrO}_2\text{-MgO}$ , zeolitas 4<sup>a</sup> y faujasita.

Grupos de la Universidad Nacional, sede Medellín

1. Termodinámica aplicada y energías alternativas (TAYEA) [11]. Algunos de los profesores que conformaron el grupo pertenecieron al Grupo de Estudios de Energía, que desarrolla investigación en el estudio de mercados, análisis de escenarios y planeación para el sector energético, el desarrollo de tecnologías y modelamiento de procesos. El tema de investigación de TAYEA gira en torno a la termodinámica, desarrollo de energías alternativas y nuevos productos del carbón, con una fuerte orientación al desarrollo de ingeniería dura y a la profundización de los conceptos avanzados de la termodinámica. El grupo tiene como objetivo impulsar la innovación y la generación de conocimiento avanzados en termodinámica y energía alternativas, haciendo énfasis en el modelamiento de fenómenos termodinámicos complejos, el impulso de la gasificación de carbón y biomasa, de la refrigeración y generación de energía eléctrica indirecta a partir del sol y almacenamiento de la energía solar.

En la labor del grupo al 2010, en el área de catálisis, hicieron un trabajo de maestría y uno de doctorado. El grupo ha publicado los resultados de sus investigaciones desde 2007 en revistas nacionales e internacionales, y en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines.

Ha realizado investigación en catalizadores anódicos basados en platino ( $\text{Pt-Ru-Ni}$ ,  $\text{Pt-Sn-Ni}$ ) para celdas de combustible de etanol y en la gasificación de carbón con níquel como catalizador.

2. Ciencia y Tecnología de Materiales [12]. En las investigaciones se realizan estudios de los materiales desde la ciencia básica, relacionando aspectos de la estructura interna del material con aplicaciones novedosas para el medio. Estos estudios se han fundamentado en el uso de técnicas avanzadas como la difracción de rayos X, la microscopía electrónica de barrido (SEM) y el análisis de imagen (metalografía cuantitativa automática).

En el grupo no se han realizado trabajos de grado, de investigación o de doctorado a 2010. En el área de catálisis ha realizado investigación en la valorización del gas natural utilizando precursores catalíticos del tipo perovskita,  $\text{La}_{1-x}\text{A}_x\text{NiO}_3$  (A = Pr, Ce).

3. Ciencia de Materiales Avanzados [16]. Los objetivos del grupo son: i) desarrollar investigaciones en el área de los materiales que generen nuevos conocimientos y aplicaciones de estos; ii) fomentar la investigación mediante la formación de estudiantes de pregrado y posgrado de la Universidad Nacional de Colombia; iii) generar investigaciones con otros grupos de trabajo que permitan la solución de problemas a nivel nacional. Los proyectos de investigación realizados desde 2006, han estado relacionados con la síntesis de sílicas mesoporosas, materiales híbridos porosos, y posibles aplicaciones en procesos catalíticos. Los trabajos publicados y presentados en eventos están relacionados con la funcionalización de sílica mesoporosa con reactivos de Grignard, síntesis y caracterización de fases estacionarias mesoporosas, síntesis de sílica-titania por el método sol-gel y evaluación de propiedades catalíticas.

#### Grupos de la Universidad de Medellín

1- Grupo de Investigaciones y Mediciones Ambientales (GEMA). Inicia sus acciones en diciembre de 2001 con diez docentes de tiempo completo [13], que elaboraron proyectos de investigación a título individual, tanto para financiación interna como de cofinanciación. El grupo GEMA empezó con un proyecto que integraba a la mayoría de los investigadores del grupo denominado

*“Evaluación ambiental del barrio Moravia”*, y que se presentó en licitación al Área Metropolitana del Valle de Aburrá –AMVA; aunque el proyecto no se ejecutó, permitió el inicio del trabajo en grupo y dimensionar las potencialidades en formación que tenían los docentes adscritos al grupo. Hasta el 2010, no se habían realizado trabajos de grado, de investigación o de doctorado. Los resultados de sus investigaciones están disponibles en artículos en el 2002 y 2005 y participación en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines entre el 2002 y el 2006.

### Grupos de la Universidad EAFIT

1. Grupo de Investigación en Procesos Ambientales y Biotecnológicos (GIPAB). El objetivo de este grupo es promover el desarrollo en las áreas ambientales y biotecnológicas en la Escuela de Ingeniería de la Universidad EAFIT. Además, fomenta la investigación a través de la formación de nuevos investigadores, la colaboración con trabajos de tesis de grado y la promoción de la investigación interinstitucional [14].

El grupo diseñó, construyó y puso en marcha un foto-reactor anular, un foto-reactor cilindro parabólico compuesto y también diseñó y construyó un foto-reactor a escala de laboratorio.

A 2009, en el grupo se habían realizado doce trabajos de grado y dos de doctorado, el grupo ha publicado los resultados de sus investigaciones en artículos nacionales e internacionales y participado en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines. El grupo ha realizado investigaciones, desde 1996, en la fotodegradación de pesticidas, colorantes, o-, m- y p-cresol, benceno-tolueno, catecol y resorcinol, alcoholes, cianuro, formaldehído, ácidos carboxílicos. Para las reacciones fotocatalíticas han utilizado nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe-TiO}_2$  y  $\text{TiO}_2/\text{C}$ . Adicionalmente, ha realizado caracterización espectroscópica de los mecanismos de reacción fotocatalítica de especies gaseosas sobre superficies de  $\text{TiO}_2$ .

## Grupos del Politécnico Colombiano

1- Química Básica y Aplicada a Procesos Bioquímicos, Biotecnológicos y Ambientales (QUIBA). El objetivo del grupo es fomentar, estimular y consolidar el conocimiento científico y tecnológico de la química básica y aplicada a procesos bioquímicos, biotecnológicos y ambientales [16].

A 2010, en el grupo, no se habían realizado trabajos de grado, de investigación o de doctorado; ha publicado los resultados de sus investigaciones en artículos nacionales e internacionales, participado en eventos científicos en el área de catálisis y temas afines. Ha realizado investigaciones en la fotodegradación de compuestos orgánicos volátiles y organoclorados, utilizando catalizadores de paladio soportados sobre óxido de titanio (Pd/TiO<sub>2</sub>) y estudio teórico y experimental de la degradación por vía fotocatalítica.

## Conclusiones

En la evolución de los grupos que trabajan en el área de catálisis en Antioquia se observa que los que tienen mayor trayectoria histórica han formado recurso humano que posteriormente ha sido vinculado en otras universidades, haciendo parte de los grupos existentes o creando grupos nuevos. Estos han diversificado las líneas de investigación de acuerdo con las tendencias y los requerimientos de la sociedad para la solución de problemas. No todas las líneas de investigación en la que trabajan están relacionadas directamente con el área de catálisis. Los servicios de extensión realizados por los grupos corresponden a la caracterización de propiedades físico químicas y de actividad catalítica de materiales. Han desarrollado investigaciones con grupos y centros de investigación colombianos y de países de Europa y América, además de las investigaciones llevadas a cabo con industrias. La visibilidad de los grupos aumentaría si estuviera actualizada la información en GRUPLaC y las páginas de los grupos.

En la información publicada sería adecuado incluir el período en que han estado vigentes las líneas de investigación de cada grupo.

## Referencias

- [1] <http://www.colciencias.gov.co/scienti>. Plataforma SCienTI - Colombia (Colciencias), fecha de consulta: abril 2011
- [2] Henao, J., Montes de C., C. “Catálisis en Colombia: estado actual y oportunidades para el futuro”, Revista Facultad de Ingeniería No. 27. pp. 30-41. Diciembre, 2002.
- [3] Ingeniemos: periódico informativo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia (Medellín), No. 16, Nov. 2010, p. 10
- [4] <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/catalisis/index.htm>. Catálisis Ambiental, fecha de consulta: Abril 4 de 2011
- [5] CIA, Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería, Catálogo grupos de investigación. Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia
- [6] ¿Cuál es SIU cuento? Breves historias de investigación y ciencia, Pieza conmemorativa 5 años Sede de Investigación Universitaria, SIU, 2009
- [7] <http://especiales.universia.net.co/galeria-de-cientificos/ingenieria-arquitectura-urbanismo-y-afines/consuelo-montes-de-correa.html>. Consuelo Montes de Correa, Universia, Fecha de consulta: Marzo 27 de 2011
- [8] [http://www.udea.edu.co/portal/page/portal/BibliotecaProgramas/GestionTecnologica/ElemtoDiseno/Archivos/Transferencia/OferTecnologica/TecnologiasAmbientales/catalisis\\_ambiental.pdf](http://www.udea.edu.co/portal/page/portal/BibliotecaProgramas/GestionTecnologica/ElemtoDiseno/Archivos/Transferencia/OferTecnologica/TecnologiasAmbientales/catalisis_ambiental.pdf). Gestión tecnológica en el portal web de la UdeA, abril 28 de 2011
- [9] [http://gdcon.udea.edu.co/mapa\\_sitio.htm](http://gdcon.udea.edu.co/mapa_sitio.htm), GDCON, fecha de consulta: abril 2011
- [10] Extensión, Universidad de Antioquia, Servicios y Educación Continua.
- [11] <http://www.tayea.unal.edu.co/Templates/informacion.html>, Termodinámica Aplicada y Energías Alternativas, TAYEA. Fecha de consulta: abril 2011
- [12] <http://www.unalmed.edu.co/doctominas/materiales/index.php?opciones=doctorado&menu=investigacion>, Grupos de investigación adscritos al doctorado. Fecha de consulta: junio 2011
- [13] <http://www.udem.edu.co/UDEM/Investigacion/CentrosDeInvestigacion/CEIN/genGema.htm>, Investigación, grupo GEMA. Fecha de consulta: abril 2011
- [14] <http://www.eafit.edu.co/investigacion/comunidad-investigativa/grupos/Paginas/gipab.aspx>, Comunidad investigativa, Procesos Ambientales y Biotecnológicos (Gipab). Fecha de consulta: abril 2011

[15] [http://72.29.67.34/~investig/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=54&Itemid=87](http://72.29.67.34/~investig/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=54&Itemid=87). Grupo de Investigación Química Básica y Aplicada. Fecha de consulta: abril 2011

[16] [http://www2.unalmed.edu.co/~facciencias/index.php?option=com\\_content&view=article&id=102&Itemid=168](http://www2.unalmed.edu.co/~facciencias/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=168). Ciencia De Materiales Avanzados. Fecha de consulta: abril 2011



# CAPÍTULO 5

## LA CATÁLISIS EN LA REGIÓN PACÍFICA DEPARTAMENTOS DE CAUCA Y VALLE DEL CAUCA

“...somos Pacífico, estamos unidos, nos une la región, la pinta, la raza y el don del sabor...”

Por

Alfonso Enrique Ramírez Sanabria, Ph.D.

Grupo de Catálisis, Universidad del Cauca

La historia de cómo llegó la catálisis a esta parte del país está directamente ligada a aquellas personas que una vez vinculadas a las instituciones de educación superior, principalmente a la Universidad del Valle, Universidad del Cauca y Universidad de Nariño, le apostaron al avance científico a través de esta ciencia. ¿A dónde llegó primero? evocando la letra de la canción -Mi Valle del Cauca- del Grupo Niche “...y entrando al sur por Jamundí, Valle del Lili dominando el plan, ay mi Cali!!!!” la historia de la catálisis en el Pacífico-Colombiano, ubica a la Universidad del Valle como el primer centro académico de donde brotaron los primeros trabajos en esta área. La Universidad se funda en el año de 1945, y 21 años después en 1966, los estudiantes Ramón Neira Lemos y Bernardo Varela Villegas de la Facultad de Ingeniería dan inicio a esta apasionante rama de la ciencia con su trabajo titulado “*Estudio de la cinética de polimerización de acetaldehído a paracetaldehído y diseño del equipo para la producción y purificación del polímero*”

bajo la dirección del ingeniero Jaime Peñaranda. La catálisis había germinado en esta región del país y su crecimiento fue posible gracias al aporte de numerosas personalidades, quienes a través de sus propuestas consiguieron posicionar esta ciencia entre la comunidad universitaria motivándola a realizar sus trabajos de fin de estudios en esta área.

En la década del setenta, fue el ingeniero Hugo Salazar quien se ocupó de esta misión dirigiendo por lo menos diez trabajos de grado, centrando sus investigaciones en la reacción de hidrogenación del furfural en fase de vapor. En los años ochenta se destacan el ingeniero Jairo Alonso, quien incursiona en el área de la oleoquímica empleando el aceite de soya como materia prima para transformarlo mediante reacciones de hidrogenación e interesterificación en presencia de catalizadores heterogéneos; y el ingeniero Ángel Zapata, estudioso de las zeolitas y de catalizadores soportados de níquel.

La década del noventa trajo consigo numerosos investigadores a la Universidad del Valle, quienes entraron a engrosar las filas de estudios en catálisis y, así mismo, la diversificación de las áreas de trabajo. Se destacan la ingeniera Aida de Stouvenel por sus trabajos en fermentación de melazas y los estudios del ingeniero Jaime Jaramillo con zeolitas.

Sin lugar a dudas, la Universidad del Valle y la Universidad Nacional de Colombia y en la actualidad la Universidad del Quindío, poseen los grupos de Catálisis Homogénea más consolidados del país; entre los pioneros por la Universidad del Valle se cuenta con el doctor Alberto Bolaños Rivera, quien con su primer trabajo dirigido *“Síntesis, caracterización y reactividad de complejos de tungsteno (IV) con ligandos heterocíclicos nitrogenados y trifenilfosfina”* y desarrollado por el estudiante de química Rubén Darío Parra en el año de 1992 abre las puertas de estudios serios publicados en revistas de alto impacto, con egresados que hoy día son profesores de química inorgánica y organometálica en diferentes universidades del país, como Eduardo Argüello Niebles,

Boris Jhonson Restrepo en la Universidad de Cartagena, Ph.D  
Fernando Cuenú Cabezas, profesor de la Universidad del Quindío,  
Ximena Delgado Jojoa, de la Universidad de Nariño.

Otro de los grupos más activos en Catálisis Homogénea es el liderado por la doctora Esperanza Galarza de Becerra, llamado Gisiomca, Grupo de Investigación en Síntesis Organometalica y Catálisis, cuyas líneas de investigación declaradas por el grupo son: Síntesis y aplicaciones catalíticas de compuestos organometálicos que han dado origen a presentaciones en eventos internacionales y varios artículos publicados en revistas de circulación nacional e internacional como son: Revista Colombiana de Química, Anales de Química, de España, Journal of Heterocycle Chemistry, Journal of Medicinal Chemistry de USA, Journal of chemical research de Inglaterra. Recientemente un informe de el periódico El Tiempo del 13 de marzo de 2013 incluye uno de sus investigadores en una lista de los diez investigadores que más publican en Colombia.

A continuación se citan algunas de las presentaciones más relevantes:

Estudio de la reactividad de los agregados metálicos trirutenio dodecarbonilo y trirutenio hidruro carbonilo aniónico con el ligando 5-amino-3-t-butil-1-fenilpirazol, cuyos resultados se presentaron en el XV Congreso Colombiano de Química 2008, sus autores son Esperanza Galarza, Guillermo Garzón, Lenka Tamayo, Rodrigo Abonía. Trabajos sobre adición oxidativa de compuestos RZ-ZR(Z=S,Se,Te; R=C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>,p-CH<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>) al complejo heteronuclear Au<sub>2</sub>Pt(MTP)<sub>4</sub> cuyos resultados se presentaron en el Congreso Colombiano de Química, 1994, por Guillermo Garzón y Olga Hoyos. Se ha investigado sobre el comportamiento eléctrico del complejo Au<sub>2</sub>Pt(MTP)<sub>4</sub> y algunos de sus derivados por adición oxidativa que dio lugar a la ponencia en el X Congreso Colombiano de Química 1996. Autores G. Garzón, E. Galarza y R. Vargas.

La síntesis electroquímica también ha sido abordada por el grupo y algunos ejemplos son la síntesis electroquímica de derivados organosilados que fue presentada en el IX Congreso Colombiano

de Química, 1994, por Esperanza Galarza y Germania Micolta. En el año 1994 el grupo estudió la deslocalización electrónica a través de orbitales vacíos de silicio en aniones radicales silados derivados del benceno. Presentado durante el XXI Congreso Latinoamericano de Química, 1994, por Esperanza Galarza, este mismo tema también dio origen a una presentación en la XX Jornada Chilena de Química en 1991. Otra de las líneas de diseño de equipos se materializó con el diseño de un reactor para síntesis a microescala de compuestos sensibles al aire, presentado en el IX Congreso de Química, 1994.

Más recientemente, en el 2004, se retomó la reactividad del agregado dodecarbonil trirutenio con una base de troger de tipopirazólica que dio origen a la ponencia en el XII Congreso Nacional de Química, a cargo de Esperanza Galarza, Germania Micolta, Rodrigo Abonía y Patricia Rodríguez. Temas como reacciones fotolíticas entre  $\text{Ru}_3\text{CO}_{12}$  y ligandos derivados de las arilidenrodaminas fue presentado en el Iberoamericano de Química en Perú en 2008, por Katerine Paredes Gil junto con los trabajos: Estudio computacional del agregado metálico  $\text{Ru}_3\text{CO}_{10}(\text{NCME})_2$  y la reactividad de los agregados  $\text{Na}[\text{Ru}_3(\text{u-CO})(\text{u-H})(\text{CO})_{10}]$  y  $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$  con el ligando 5-amino-3-t-butil-1-p-nitrofenilpirazol. Entre los productos del grupo cabe destacar al Joven Investigador Rodrigo Abonía González, que a mediados de marzo del 2013, su nombre es incluido en la lista de los diez investigadores con mayor producción científica en Colombia.

El nuevo milenio llega, y con él la creación del grupo -LICAP- Laboratorio de Investigación en Catálisis Aplicada y Procesos, que inició sus actividades investigativas en el año 2005 con la participación de los profesores de la Facultad de Ingenierías Fidermán Machuca y María Helena Pinzón, y de la Facultad de Ciencias Alberto Bolaños y Julián Urresta, este último líder de LICAP. Recientemente, al grupo se unió el doctor Dorian Polo, proveniente de la Universidad Nacional de Colombia, especialista en catálisis homogénea para reacciones de polimerización.

Las áreas de investigación que se trabajan al interior del grupo incluyen: Química fina, oleoquímica, petroquímica, catálisis ambiental y gestión del conocimiento. El interés principal del LICAP está dirigido i) hacia el desarrollo de procesos catalíticos con base en la posibilidad de aplicación industrial y en la utilización de los recursos del país, ii) a la asesoría a la industria local para la selección, caracterización y uso de catalizadores, y iii) al desarrollo, evaluación y especificación de equipos en procesos industriales. Para este efecto, LICAP tiene alianzas con los grupos de investigación que conforman el Nodo Suroccidental de Catálisis al cual pertenecen: la Universidad del Cauca, Universidad de Nariño, Universidad de Caldas y Universidad del Quindío; así como también, relaciones con profesores de universidades nacionales, tales como la Universidad Industrial de Santander (Aristóbulo Centeno, Sonia Giraldo), la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (Sonia Moreno, Rafael Molina) y con grupos de investigación de otros países tales como: Laboratoire de Catalyse en Chimie Organique de la Universidad de Poitiers (Francia), Laboratorio de Cinética Química de la Universidad Federal de Bahía (Brasil), el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica - CSIC (España), Instituto de Tecnología Química-Universidad Politécnica de Valencia (España), Unidad de Catálisis y Química de los Materiales (CATA)- Université Catholique de Louvain (Bélgica) y Universidad Federal de Minas Gerais (Brasil).

## **UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

La catálisis toca las puertas de la capital del Cauca en el año de 1998, seis años después de la creación del programa de Química, con la llegada del doctor Julián Urresta a la Universidad del Cauca. El grupo de los profesores pioneros Luis Alfonso Vargas, Julian Urresta y Alfonso Ramírez - inicia esta historia entre grasas, aceites, síntesis de catalizadores para oleoquímica y amores...impartiendo con un grupo de ocho estudiantes de octavo semestre, inaugura la electiva en catálisis. El primer trabajo de grado al interior del

grupo *“Reacciones de esterificación del glicerol con ácido oleico utilizando catalizadores heterogéneos tipo Cu o Ni sobre óxidos de aluminio, manganeso, lantano, silicio y cinc”* desarrollado por las estudiantes Cristina Ledezma y Lucía Quiñones bajo la dirección del doctor Julián Urresta.

Llega al grupo desde la fría y lejana Rusia un nuevo y particular integrante, el doctor Jhonny Vilard Gutiérrez Portilla, quien además de traer el secreto de la preparación de un excelente vodka artesanal trajo consigo ánodos y cátodos que propiciaron el comienzo de síntesis electrocatalítica en los espacios del laboratorio con su primer trabajo dirigido *“Electrooxidación catalítica del metanol y fenol en agua”*, desarrollado por la estudiante Claudia Patricia Idrobo.

Es de recalcar que sólo dos grupos en Colombia trabajan esta área LICAP y el profesor Julio Pedraza en la Universidad Industrial de Santander.

Los siguientes trabajos de grado estuvieron enmarcados en el área de la oleoquímica a través de un trabajo estrechamente vinculado con Cenipalma, Fedepalma y la Universidad Tecnológica de Pereira, donde se enfocó en la valorización de aceites vegetales a través del empleo de catalizadores soportados tipo metal/óxido. En 2004, se cierra el ciclo del fundador del grupo Julián Urresta con la dirección del trabajo de grado titulado *“Síntesis de arcillas pilarizadas y su aplicación en la obtención de monooleato de glicerol vía esterificación”* en colaboración con el Grupo de Investigación en Estado Sólido y Catalisis de la Universidad Nacional de Colombia –ESCA- y el Laboratorio de Catálisis por los Óxidos de la Université de Poitiers –LACCO-. El doctor Julián Urresta se despide de este centro del saber, pero continúa siendo parte del grupo en calidad de asesor desde sus nuevas coordenadas en la Universidad del Valle.

Durante el 2005 y 2006, asume la dirección del grupo el M.Sc. Luis Alfonso Vargas, desarrollando actividades con semilleros de investigación que suman aprendices de la catálisis, con más de

treinta estudiantes de química. Bajo su dirección se desarrollan los trabajos de grado en oleoquímica de los estudiantes Alex Castro en hidrogenación y Carlos Ararat en colaboración con el grupo de física de materiales CYTEMAC y reformado de metano de Manuel Amézquita en colaboración con el grupo QUIREMA de la Universidad de Antioquia.

A partir del año 2006 y hasta la fecha, el director del grupo de catálisis de la Unicauca ha sido Alfonso Enrique Ramírez Sanabria, quien elaboró esta crónica. Llegó luego de realizar su doctorado en la Université de Poitiers, bajo la dirección de los doctores Yannick Pouilloux y Joel Barrault. El grupo tiene como objetivo fortalecer la línea de trabajo en oleoquímica, con la dirección de diversos trabajos de grado que incluyen la fusión de ésta con electroquímica por el estudiante Andrés Sebastián Salinas, en conjunto con el profesor Fernando Larmat de la Universidad del Valle. Otro trabajo incluyó la incursión en el desarrollo de catalizadores sólidos ácidos, que dió lugar a otro trabajo de grado en química, y en donde uno de los estudiantes Cristian David Miranda sigue vinculado al grupo en calidad de estudiante de maestría. Se incursiona igualmente en el área de materiales semiconductores con aplicaciones fotocatalíticas, en desarrollo de catalizadores Redox para su empleo en reacciones de oxidación de alcoholes y epoxidación de enlaces olefínicos.

En el seno del grupo se dio acogida al pasante post-doctoral Cecilia Lederhos, quien vino del Instituto de Catálisis y Petroquímica de Argentina y con ella se establecieron vínculos de cooperación trabajando en el desarrollo de catalizadores utilizados en hidrogenación y oxidación.

Para dar cumplimiento a la visión que estableció el grupo, el de contribuir a la generación de conocimiento en el área de catálisis, se cuenta con cooperaciones con diversos centros nacionales e internacionales pudiendo citar al doctor Yannick Pouilloux, del Laboratoire de Catalyse en Chimie Organique, al doctor Matteo Guidotti del CNR de Italia, al doctor Hugo A. Rojas S., de la

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja, al doctor Fernando Cuenú de la Universidad del Quindío, y a la M. Sc. Ximena Delgado de la Universidad de Nariño, entre otros.

En 2008, el grupo fue el organizador del Segundo Encuentro Suroccidental de Catálisis y dentro de este se celebraron los diez años de fundación del mismo con un sentido homenaje a nuestro fundador. Hasta el momento son quince los egresados del programa de química que han realizado su trabajo de grado al interior del grupo; se continúa con el grupo de semilleros que cuenta actualmente con quince integrantes activos, dos estudiantes de pregrado y otros dos de maestría.

Actualmente los integrantes activos del grupo son: doctor Jhonny V. Gutiérrez P. (el electroquímico), el M. Sc. Luis A. Vargas J. (el homogéneo) y el doctor Alfonso E. Ramírez S. (el heterogéneo). Las líneas de trabajo de investigación incluyen; Química Fina, Electroquímica, Procesos Avanzados de Oxidación-PAO's- y Materiales.

Y la catálisis llega al sur... en el departamento de Nariño se funda uno de los grupos más recientes, el Grupo de Investigaciones en Materiales Funcionales y Catálisis -GIMFC, mediante el acuerdo del 9 de octubre del 2006 con una egresada del grupo liderado por el doctor Alberto Bolaños de la Universidad del Valle, la M. Sc. Sonia Ximena Delgado y el egresado del grupo liderado por los doctores Sonia Moreno y Rafael Molina de la Universidad Nacional de Colombia; el doctor Luis Alejandro Galeano, quienes a su llegada a la Universidad de Nariño combinaron, catálisis homogénea y heterogénea.

Los primeros trabajos de investigación desarrollados en el grupo datan de 2007 y fueron: *“Síntesis y caracterización de perovskitas  $\text{LaTi}_1\text{-XMXO}_3$  (M= Fe, Cu, Mn, Fe-Cu) y evaluación de sus propiedades catalíticas en la reacción de oxidación húmeda de fenol en medio acuoso diluido”* a cargo del estudiante Juan Carlos Delgado y *“Estudio de la influencia de la carga inerlaminar de esmectitas, sobre las propiedades fisicoquímicas de arcillas pilarizadas con el*

*sistema Al/Fe*” a cargo de la estudiante Sandra Patricia Gómez, ambos dirigidos por el M.Sc. Alejandro Galeano.

En convenio con la Universidad del Valle, se desarrolló el trabajo *“Síntesis de monoglicéridos sobre arcillas modificadas para la preparación de monolaureato de glicerol”* realizado por el estudiante Manuel Jurado y dirigido por la M.Sc. Ximena Delgado y por el doctor Julián Urresta.

Dentro de las líneas de investigación que se han trabajado en este grupo, se cuenta con procesos avanzados de oxidación que se enmarcarían dentro de la catálisis ambiental, la catálisis ácida y la catálisis homogénea. Cabe resaltar que muchos de sus proyectos están enmarcados en la resolución de problemas de orden local; es por ello por lo que entre las empresas vinculadas con sus proyectos se encuentra la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto Empopasto S.A E.S.P y la Empresa Metropolitana de Aseos de Pasto Emas S.A E.S.P

Ya son doce los profesionales en química y dos los ingenieros agroindustriales, graduados con trabajos de investigación realizados en el seno del grupo GIMFC. El grupo sigue activo, con un promedio de diez estudiantes que hacen parte del mismo y seis que realizan su trabajo de grado actualmente.

En el año 2007, se llevó a cabo en la Universidad de Nariño el primer Encuentro Suroccidental de Catálisis en donde se socializaron los resultados de los trabajos que se efectuaban en su momento en cada uno de los grupos y al calor de unos hervidos, un delicioso cuy, y al son de las chullas se creó el Nodo Suroccidental de Catálisis.

## **Nodo Suroccidental de catálisis**

Lo constituyen los grupos del sur *“toda una conexión como un corrillo, Choco, Cauca, Valle del Cauca y mis paisanos de Nariño”*. Todos a uno con la intención de promover y difundir la investigación y generación de conocimiento en el campo de la catálisis en la región.

Se acordó la integración de los grupos que investigan en catálisis de las Universidades del Valle, Cauca y Nariño, constituido por los siguientes grupos: Laboratorio de Catálisis Aplicada y Procesos –LICAP-, Grupo de Investigación en Síntesis Organometálica y Catálisis –GISIOMCA- estos dos por parte de la Universidad del Valle; Grupo de Investigación en Materiales Funcionales y Catálisis –GIMFC- por la Universidad de Nariño y el Grupo de Catálisis de la Universidad del Cauca.

Con la conformación del nodo, se pretendió aunar esfuerzos, potencialidades y recursos entre los grupos e instituciones involucrados bajo principios de cooperatividad y funcionalidad, esta colaboración interinstitucional permitiría generar proyectos y productos de investigación de impacto regional, nacional e internacional. Además, la cooperación entre los grupos participantes buscó optimizar el aprovechamiento de los recursos técnicos disponibles y futuros, vinculando las diferentes áreas de investigación y desarrollo en catálisis en las que se especializa cada uno de los grupos de investigación, mediante el ejercicio del trabajo interinstitucional e interdisciplinario. La idea es llegar a ser un centro de excelencia, reconocido en el ámbito de la catálisis.

El nodo ha sido hasta el momento un espacio para desarrollar actividades de docencia e investigación, privilegiando de algún modo la interacción entre los grupos a través de pasantías, cursos de extensión y de encuentros, de estos se han celebrado tres, el primero de ellos en Pasto (2007), en donde se socializaron los resultados de los trabajos que se efectuaban en ese momento en cada uno de los grupos; el segundo realizado en Popayán (2008), el tercero en Manizales (2009), que dio origen al Nodo Centrooccidente de Catálisis.

Asistentes Primer Encuentro SurOccidental de Catálisis, Pasto 2007.

Invitados Nacionales, Primer Encuentro SurOccidental de Catálisis, Pasto 2007.

Invitado internacional y asistentes, Segundo Encuentro SurOccidental de Catálisis, Popayán, 2008.

#### AGRADECIMIENTOS

La realización del presente capítulo: Pacífico, fue posible por el aporte de: María Patricia Zuluaga (Catálisis, Universidad del Cauca), Julián Urresta (LICAP, Universidad del Valle), Fiderman Machuca (LICAP, Universidad del Valle), Alberto Bolaños (LICAP, Universidad del Valle), Sonia Ximena Delgado (GIMFC, Universidad de Nariño) y por la confianza y el empuje brindado por la Prof. Aida Liliana Barbosa L. (Universidad de Cartagena) gestora de este manuscrito llamado La historia de la catálisis.



# CAPÍTULO 6

## LA CATÁLISIS EN LA REGIÓN CARIBE. DEPARTAMENTOS DE ATLÁNTICO Y CÓRDOBA

Por

Mario Barrera, Ph.D.

Grupo de Catálisis, Universidad de Córdoba

### Comienzos de la investigación en catálisis

La investigación en catálisis en el Departamento de Córdoba se inicia formalmente en el año 1998 con la vinculación del doctor Mario Barrera como profesor de tiempo completo, vinculado a la planta de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías del Departamento de Química de la Universidad de Córdoba. El profesor Barrera había iniciado sus estudios de maestría en química en la Universidad Industrial de Santander (UIS) con tema de tesis en Catálisis Heterogénea utilizando materiales de arcilla intercalados con una metaloporfirina, con el fin de ensayar los sistemas como catalizadores en la reacción de oxidación selectiva de ciclohexeno.

En el año 1999, la Universidad de Córdoba estableció un convenio de cooperación académica de carácter interinstitucional, consistente en la cualificación de docentes y la creación de laboratorios de investigación, con la Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá, a nivel de maestría.

En el marco de este convenio, se estableció que las líneas específicas de interés fueran Química Orgánica, Fisicoquímica y Catálisis, decisión que se toma a partir de los perfiles de los profesores inscritos. En el marco de este convenio se formaron los profesores Mario Barrera, Arcadio Almanza (actualmente docente de tiempo completo, vinculado ocasionalmente al Departamento de Química de la Universidad de Córdoba) y José Gregorio Carriazo (actualmente Doctor en Ciencias Químicas, vinculado con dedicación exclusiva a la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá).

Los directores de este proceso fueron el doctor Luis Oviedo Aguiar para el estudiante Mario Barrera, la doctora Sonia Moreno para el estudiante José Gregorio Carriazo y el doctor Jesús Sigifredo Valencia Ríos para el estudiante Arcadio Almanza. Finalmente el profesor Barrera se graduó de sus estudios de doctorado bajo la dirección del doctor Valencia y el doctor Antonio Gil de la Universidad Pública de Navarra, España.

El doctor Gil narra su experiencia: En el año 2003 recibí una invitación, poco habitual pero al mismo tiempo muy tentadora, por parte del profesor Valencia, deseaba que como conocedor del campo de la síntesis de arcillas pilareadas y sus aplicaciones catalíticas, co-dirigiera a la distancia el trabajo doctoral del profesor Barrera. Por mi amistad con el profesor Valencia y mi interés en este campo, acepté su invitación.

El trabajo pudo llevarse a cabo a pesar de la distancia, las temporadas de silencio electrónico y los inconvenientes administrativos.

La parte teórica de las asignaturas de estudios se realizaban básicamente en la Universidad de Córdoba, en el aula 5-13 que actualmente sirve de cubículo a algunos docentes ocasionales y catedráticos.

En lo que respecta a la dirección por parte del profesor Jesús Valencia, empezó impartiendo a su dirigido, las primeras

nociones sobre síntesis de materiales de interés catalítico, algunas en el incipiente laboratorio de catálisis que se había creado por motivos de los nacientes estudios. Otras prácticas se realizaban en los laboratorios destinados para la docencia en el Departamento de Química de la Universidad de Córdoba.

El profesor Almanza relata:

La propuesta de trabajo de grado se centró sobre la hidrogenación catalítica del fenol, usando un catalizador de Ni soportado sobre aluminato de níquel. La síntesis y los ensayos catalíticos, se llevaron a cabo en el laboratorio de catálisis de la Universidad Nacional de Colombia–Sede Bogotá, donde fueron sintetizadas treinta y seis muestras, y como se tenía que aprovechar un viaje del director Jesús Valencia a España, se podían hacer las caracterizaciones de las mismas a bajo costo; hubo la necesidad de trabajar día y noche para poder tener las treinta y seis muestras a tiempo “se medio dormía en el mismo laboratorio”.

Como no se tenían al principio, los recursos de materiales y reactivos para la realización de estas actividades, el profesor Valencia en varias ocasiones los suministraba e incluso nos tocaba solicitarlos prestado, al almacén de materiales y reactivos de la Universidad de Córdoba, “préstamos que casi nunca pagábamos”.

Fue un proceso difícil, ya que por la falta de equipos para desarrollar las prácticas, al principio se desarrolló de manera muy teórica. Sin embargo, se vivió una experiencia maravillosa, que nos permitió con la gran ayuda de la administración de turno de la Universidad, dar los primeros pasos para la creación del Laboratorio de Materiales y Catálisis del Departamento de Química de la Universidad de Córdoba, cuyo espacio físico fue tomado del otrora Laboratorio Integrado de Ciencias, que estaba a cargo del Químico Farmacéutico Gustavo Núñez y el licenciado Antonio Mercado Vergara, dedicado a las actividades propias del programa de licenciatura en Biología y Química, de donde nació el actual programa de Química, que si bien no cuenta con los equipos

robustos que requiere, nos ha permitido sembrar la semilla para el desarrollo de la catálisis en la Universidad.

Debemos recordar que este proceso de cualificación docente, le tocó vivir los primeros años de la incursión del paramilitarismo en la Universidad. Sin embargo, logramos salir adelante y ahí está nuestro laboratorio, creando la llamada cultura de la catálisis en nuestros estudiantes y compañeros docentes.

Primer Grupo de Investigación Básica y Aplicada de Catálisis en Córdoba

Este grupo partió de la línea de investigación en catálisis en el grupo de Físicoquímica Orgánica en el año 2005, bajo la dirección de la profesora Jennifer Lafont Mendoza. Con anterioridad, se realizaron dos trabajos de grado de estudiantes de pregrado (Álvaro López, actualmente dedicado a la enseñanza de la química como docente de bachillerato y Carlos García Negrete, quien actualmente realiza estudios de doctorado en la Universidad de Sevilla-España). Mientras el profesor Barrera terminaba sus estudios de doctorado en Bogotá, los dirigió a distancia. Con la creación del semillero de investigación de materiales y catálisis, dentro de la línea de investigación, se inicia en firme el grupo de investigación en catálisis con dos profesores y cuatro estudiantes del programa de química. En el año 2009, la línea de catálisis pasó a ser el grupo ATEMA (Aplicaciones Tecnológicas de Materiales) hoy clasificado en Colciencias en categoría C, con la inclusión del doctor Antonio Gil de la Universidad Pública de Navarra, España, y el doctor Miguel Ángel Vicente de la Universidad de Salamanca, España, como investigadores en el grupo.

En el año 2007, se aprobó el primer proyecto de investigación de convocatoria interna en la Universidad con el cual se desarrollaron varios trabajos de investigación. En el grupo de investigación se han graduado unos veinte egresados del programa de química. También se creó un curso teórico-práctico de diplomado para ofrecer a los estudiantes como opción de grado, lo que aumenta el número de egresados en quince. Actualmente se cuenta con tres

profesores (uno con formación doctoral y dos con formación de Maestría en Química), diez y siete estudiantes de pregrado de los cuales algunos pertenecen al semillero adscrito al grupo y otros se encuentran realizando trabajos de grado, seis más están en el programa de maestría iniciado en el año de 2009.

## **Visión académica de los grupos**

En Córdoba sólo existe un grupo de investigación en catálisis que actualmente se conoce como “Aplicaciones Tecnológicas de Materiales (ATEMA)”, nombre sugerido por el doctor Antonio Gil, donde se desarrollan seminarios semanales en torno a temas relacionados con la química inorgánica y catálisis. En este espacio, los estudiantes también realizan los ensayos anteriores a la defensa de su trabajo de grado.

El doctor Gil relata sobre su participación en el grupo: En el año 2007 el profesor Barrera me comentó la posibilidad de constituir un grupo de investigación con el objetivo de impulsar los trabajos de investigación en la Universidad de Córdoba. Con la experiencia del profesor Barrera, estaba claro que debía tratarse de un grupo centrado en los materiales, a los que había que darles una aplicación. En tal caso, el nombre del grupo era fácil de proponer “Aplicaciones Tecnológicas de Materiales – ATEMA”. Con la denominación genérica tratamos de abarcar todas las aplicaciones que puedan tener los materiales de interés que se sintetizan en la Universidad de Córdoba, ya sean catalíticas, medioambientales, etc. Hoy en día, el grupo sigue avanzando en su trabajo, difícil en los inicios pero muy prometedor porque cuenta con el interés de una gran cantidad de estudiantes. Los medios y el reconocimiento llegarán con el tiempo.

## **Campos académicos y científicos**

Dentro del campo académico están enmarcados tres cursos electivos, para el programa de pregrado, y dos cursos electivos en

el programa de maestría. Actualmente, con la apertura de nuevos programas en la Universidad, se están proponiendo también nuevas asignaturas electivas para ofrecer. También se cuenta con el diplomado “Síntesis y caracterización de materiales de interés tecnológico”.

## **Desarrollo histórico desde el punto de vista de la industria**

Siendo Córdoba una zona agrícola y ganadera por excelencia, el desarrollo de la catálisis no ha llegado a nivel industrial. Actualmente se está trabajando desde la parte biotecnológica, donde buscan obtener cepas de bacterias que mejoren la asimilación de nutrientes del suelo en los pastos. En el laboratorio de catálisis se viene trabajando sobre aplicación de arcillas de suelo cordobés en el proceso de transformación del nitrógeno producto de aguas residuales de ganadería y piscicultura, así como en la formación de nanopartículas para reacciones de hidrogenación y oxidación.

## **APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE MATERIALES (ATEMA)**

Líder: Mario Barrera Vargas

### **LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y SUS OBJETIVOS**

1. Materiales cerámicos y aplicaciones
2. Materiales inorgánicos de interés tecnológico
3. Sólidos porosos y catálisis heterogénea

### **INTEGRANTES DEL GRUPO**

Investigadores:

- Mario Barrera Vargas
- Cecilia Caballero Carmona
- Jesús Sigifredo Valencia (Universidad Nacional, Bogotá)
- Antonio Gil Bravo (Universidad Pública de Navarra, España)

- Miguel Ángel Vicente (Universidad de Salamanca, España)

Estudiantes:

- Alex Johán Contreras Guerrero
- Edeimis Espitia Cogollo
- Mario Enrique Heredia Pérez
- Kelly Ruth Hernández Vitola (egresada, estudiante de maestría en ciencias químicas)
- Carlos Javier Mendoza Merlano (egresado)
- Eveling Urango Ramos (egresado)
- Edwin Xavier Ruiz Monterrosa
- William Esteban Pastrana Caballero (semillero de investigación)
- Manuel Fernando Acosta Humanéz (egresado, estudiante de maestría en Ciencia de Materiales, UNAL)
- Carlos Martelo (estudiante de maestría en Ciencias Químicas)
- Luis Felipe Guzmán (estudiante de maestría en Ciencias Químicas)
- Néstor Perales (estudiante de maestría en Ciencias Químicas)
- Ana Ortega (estudiante de maestría en Ciencias Químicas)
- Diana Pizarro (estudiante de maestría en Ciencias Químicas)
- Katuska Angulo Tordecilla (semillero de investigación)
- Paula Estrada (semillero de investigación)
- Órnela Villareal (semillero de investigación)

## **OBJETIVO DE LAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

### **1. Materiales cerámicos y aplicaciones**

- Estudiar y caracterizar materiales cerámicos primarios y avanzados para posible aplicación en ciencia y tecnología.

### **2. Materiales inorgánicos de interés tecnológico**

- Crear y consolidar protocolos de síntesis de compuestos inorgánicos con eventual aplicación tecnológica.

- Caracterizar los materiales inorgánicos sintetizados.

### 3. Sólidos porosos y catálisis heterogénea

- Estudiar y caracterizar sistemáticamente la síntesis de sólidos porosos.

- Estudiar y aplicar sólidos porosos naturales en procesos de catálisis heterogénea.

## PLAN DE TRABAJO DEL GRUPO

Desarrollo de proyectos de investigación en síntesis de materiales, los cuales deben tener aplicaciones tecnológicas y/o medioambientales y catálisis. Formación de investigadores profesionales en pregrado y postgrado, generando conocimiento, para darlo a conocer, a la comunidad científica y tecnológica, a través de publicaciones.

## PUBLICACIONES DEL GRUPO Y PARTICIPACIONES EN EVENTOS

Publicación	Autor (es)	Revista	Año
Impregnación de platino y dimensión fractal en dos tipos de sólidos microporosos.	Mario Barrera Vargas José Carriazo, Manuel Molina	Revista Ingenierías Universidad de Medellín ISSN: 1692- 3324	2010
Licuefacción catalítica directa de carbones. Efecto de la temperatura.	Mario Barrera Vargas, Daniel Ramos, Luis Rodríguez, Jazmín Agamez	Revista Colombiana de Química ISSN: 0102-2804	2010
Selective hydrogenation of citral over gold nanoparticles on alumina	Cecilia Caballero, Jesús Valencia, Mario Barrera, Antonio Gil	Powder Technology	2010
Evaluación del efecto de la impregnación de platino sobre las características superficiales y estructurales de una zeolita Y -	Mario Barrera Vargas, José Gregorio Carriazo, Ovidio Almanza	Revista Colombiana de Química ISSN: 0102-2804	2007

Influence of Cerium addition on the synthesis of solids base on Platinum supported over Alumina-Pillared Clay.	Mario Barrera Vargas, José Carriazo, Ovidio Almanza	Scientia Et Technica ISSN: 0122-1701	2007
Empleo de dos arcillas naturales colombianas en la eliminación de iones metálicos en solución acuosa.	Mario Barrera Vargas, José Gregorio Carriazo Marta J. Saavedra	Scientia Et Technica ISSN: 0122-1701	2005
Effect of the platinum content in the microstructure and micropore size distribution of Pt/Alumina-pillared Clays.	Mario Barrera Vargas, Jesús Valencia Ríos, Miguel Ángel Vicente, Shopia Korili, Andoni Gil Bravo	Journal of physical chemistry B ISSN: 1089-5647	2005
Caracterización de arenas provenientes de playas de Córdoba y Sucre	Rafael Cogollo, Hernán Garrido, Zirem Cordero, Mario Barrera, Ovidio Almanza	Revista Colombiana de Física, vol. 39, no. 1	2007

## PUBLICACIONES DEL GRUPO Y PARTICIPACIONES EN EVENTOS RELACIÓN DE EVENTOS ACADÉMICOS

LUGAR	EVENTO	FECHA	CATEGORIA	TITULO DE LA PONENCIA	PONENTE
Pasto (Colombia)	VIII Encuentro Nacional y II Internacional de semilleros de investigación	13-16/10/2005	Internacional	Caracterización fisicoquímica de una arcilla natural del departamento de Córdoba	Cecilia Caballero C
Santa Marta (Colombia)	IV encuentro Regional de Ciencias Físicas 1	9-21/11/2008	Regional	Influencia del método de preparación sobre algunos parámetros texturales de partículas de oro soportadas sobre un sólido mesoporoso	Mayra Pereira P Rubén Ávila
Montería (Colombia)	III Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación. RedCOLSI, Nodo Córdoba.	2008	Regional	Síntesis y caracterización de un óxido de Lantano tipo Perovskita mediante método Sol-gel	Manuel Acosta H

Medellín (Colombia)	XI Encuentro Nacional y V Internacional de Semilleros de Investigación. RedCOLSI,	2008	Nacional	Síntesis y Caracterización de un Óxido de Lantano tipo Perovskita mediante método Sol-gel	Manuel Acosta H
Montería (Colombia)	III Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación. RedCOLSI,	2008	Regional	Contribución al estudio estructural de una arcilla natural y pilarizada del departamento de Córdoba	José Joaquín Arroyo
Medellín (Colombia)	XI Encuentro Nacional y V Internacional de Semilleros de Investigación. RedCOLSI,	2008	Nacional	Contribución al estudio estructural de una arcilla natural y pilarizada del departamento de Córdoba	José Joaquín Arroyo
Cali (Colombia)	IX Congreso Nacional Estudiantil de Química Pura y Aplicada	10/09	Nacional	Síntesis y caracterización de cuprita de lantano y cerio mediante el método sol-gel	Kelly Hernández
Cali (Colombia)	XII Encuentro Nacional y VI Internacional de Semilleros de Investigación	8-11/10/2009	Internacional	Síntesis y caracterización de sistemas Au/ $\gamma$ -alumina.	Mayra Pereira P
Bogotá (Colombia)	XII Encuentro Nacional y VI Internacional de Semillero de investigación	8-11/10 /2009	Internacional	Síntesis y caracterización de cuprita de lantano y cerio mediante el método sol-gel	Kelly Hernández
Bogotá (Colombia)	Encuentro Nacional de Investigación en Posgrados ENIP 2009	2-4/12/2009	Nacional	Síntesis y caracterización de cuprita de lantano	Mario Barrera V
Viña del Mar (Chile)	Congreso Iberoamericano de Catálisis	5-11/09/2010	Internacional	Hidrogenación de citral sobre catalizadores de oro soportado en $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	Mario Barrera V
Cartagena (Colombia)	XXIX Congreso Latinoamericano de Química CLAQ	27/09 - 01/10 2010	Internacional	Estudio de la hidrogenación de citral sobre sistemas de Au- $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cecilia Caballero C

Cartagena (Colombia)	XXIX Congreso Latinoamericano de Química CLAQ	27/09 - 01/10 2010	Internacional	Resistividad en función de la temperatura de nanopartículas de oro soportadas en gamma -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Manuel Acosta H
Cartagena (Colombia)	XXIX Congreso Latinoamericano de Química CLAQ	27/09 - 01/10 2010	Internacional	Oxidation of carbon monoxide over platinum catalysts on pillared clays	Mario Barrera V
Medellín (Colombia)	Práctica académica -VII de Química	Semestral	Nacional	Química Inorgánica III	Mario Barrera V
Cartagena (Colombia)	I Jornadas sobre Sólidos Porosos y Catálisis Región Caribe	25-27/03/2010	Nacional	Estudio preliminar, textural y de dimensión fractal de óxidos tipo perovskita	Manuel Acosta H
Cartagena (Colombia)	I Jornadas sobre Sólidos Porosos y Catálisis Región Caribe	25-27/03/2011	Nacional	Fenómenos de adsorción y sus aplicaciones en nanociencia	Mario Barrera V
Cartagena (Colombia)	I Jornadas sobre Sólidos Porosos y Catálisis Región Caribe	25-27/03/2011	Nacional	Síntesis y caracterización de compuestos inorgánicos homometálicos de metales nobles y un ácido carboxílico.	Cecilia Caballero C
Cartagena (Colombia)	I Jornadas sobre Sólidos Porosos y Catálisis Región Caribe	25-27/03/2011	Nacional	Síntesis y caracterización de cuprita de lantano y cerio mediante el método sol-gel.	Kelly Hernández V
Cartagena (Colombia)	I Jornadas sobre Sólidos Porosos y Catálisis Región Caribe	25-27/03/2012	Nacional	Purificación y modificación de arcillas naturales extraídas del departamento de Córdoba	Jaquelin Macea
Montería (Colombia)	V Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación	05/10	Regional	Caracterización textural de partículas de oro soportadas sobre un sólido mesoporoso.	Eveling Urango R

Montería (Colombia)	V Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación	05/10	Regional	Caracterización estructural de una arcilla natural del departamento de Córdoba modificada por pilarización con aluminio y aluminio-cerio	Edeimis Espitia
Montería (Colombia)	V Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación	05/10	Regional	Caracterización estructural mediante difracción de Rayos X de una arcilla pilareada con diferentes cargas de platino	Carlos Mendoza M

## PROYECCIÓN

Síntesis y caracterización de materiales cerámicos avanzados con proyección de aplicación en instrumentos digitales.

Aplicación del método Sol-gel en la síntesis de materiales inorgánicos con el fin de caracterizarlos estructuralmente.

Montar la infraestructura mínima necesaria, para realizar ensayos catalíticos heterogéneos, en reacción de hidrogenación y oxidación selectiva de hidrocarburos insaturados.

# CAPÍTULO 7

## PRESENCIA DE LA CATÁLISIS EN LA UNIVERSIDAD DE CARTAGENA Y EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

Por

Aida Liliana Barbosa López, Ph.D.

Laboratorio de Investigaciones en Catálisis y Nuevos Materiales LICATUC,  
Universidad de Cartagena.

Entre las primeras personas que llegan procedentes de la Universidad del Valle con maestría en áreas relacionadas con Catálisis Homogénea están los profesores Eduardo Argüello Niebles y Boris Johnson en 1993, quienes lideraron algunos proyectos de grado en el tema de síntesis de catalizadores de metales preciosos como rutenio y paladio en reacciones de hidroformilación catalítica, propiamente con complejos  $\text{RuCl}_2(\text{PPh}_3)_2(\text{PY})_2$  mediante la hidrogenación en fase homogénea de la bencilidenacetona, que se complementaron con experimentos para el desarrollo de las síntesis de compuestos análogos furanonaftoquinónicos con posible actividad antimalárica contra *plasmodium falciparum* de gran importancia biológica, en el año 2007.

A partir del año 1995, se realizan los primeros trabajos en catálisis heterogénea, con la síntesis de compuestos heteropolícompuestos a base de molibdeno con metales de transición divalentes, lo cual

hizo parte de un proyecto aprobado por la academia de Ciencias del Tercer Mundo TWAS de Trieste-Italia en 1997, llevado a cabo por las estudiantes Yulisa Molina, quien sintetizó heteropolicompuestos a base de molibdeno-manganeso, y Sorelis Nieto, quien se dedicó a la síntesis de compuestos cobre-molibdeno. Los trabajos fueron dirigidos por la profesora Aida Liliana Barbosa López, que había llegado procedente de Venezuela, del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas IVIC, y la profesora Rosario Muñoz Martínez, máster en Polímeros y Espectroscopia FT-IR de la Universidad de Tennessee-USA, ambas profesoras de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas hoy día.

Las acciones primarias del grupo de Catálisis Heterógena creado en 1997, solo se consolidaron hasta el 2001, cuando la profesora Aida Liliana Barbosa retornó de la beca doctoral auspiciada por Colciencias, realizada en la Facultad de Ciencias, departamento de Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Zaragoza-España. Con Rosario Muñoz fundó el Laboratorio de Investigaciones en Catálisis y Nuevos Materiales de la Universidad de Cartagena LICATUC, que tiene como propósito contribuir con el desarrollo académico e investigativo de la Universidad de Cartagena, la región y el país a través de investigaciones fundamentales sobre catálisis heterogénea, caracterización de materiales y desarrollo de nuevos materiales de protección medioambiental en diversos sectores. Nos distinguimos con el logo “Productividad científica y tecnológica al servicio del país”.

Durante el proceso de más de una década los esfuerzos se encaminaron a desarrollar infraestructura propia y adquisición de equipos robustos para el laboratorio y el apoyo a programas de maestría y doctorado. En la actualidad, contamos con la infraestructura para realizar proyectos en el desarrollo de catalizadores basados en óxidos mixtos de metales de transición y óxidos semiconductores, como alternativa en lugar de metales nobles para el estudio de la combustión de gas natural, fotocatalisis y reacciones de hidrotratamiento, caracterización de materiales por

técnicas como DRX, FRX, ME, Raman, IR de bienes patrimoniales y sólidos porosos, estudios de corrosión química electrolítica, en materiales pétreos y metálicos, cloruros, sulfatos, carbonatos y pruebas de resistividad.

Como líneas vigentes de trabajo están:

- Caracterización de materiales patrimoniales y desarrollo de estrategias de control del deterioro y de la corrosión.
- Desarrollo de innovaciones pedagógicas en temas de apoyo a la industria petroquímica local.
- Remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos mediante tecnologías de oxidación avanzada AOP.
- Reacciones de reformado y combustión catalítica a partir de reactivos ambientalmente amigables.
- Formación de recurso humano en las áreas de Catálisis Heterogénea y obtención y caracterización de materiales a nivel de pregrado y postgrado.

La misión del Laboratorio de Investigaciones en Catálisis y Nuevos Materiales de la Universidad de Cartagena (LICATUC) es permitir la simbiosis de la catálisis desde la química y la ingeniería para garantizar una respuesta a problemas relacionados con la industria y el medio ambiente. A partir de una base conceptual rigurosa y crítica, fundamentada en las ciencias exactas y naturales, buscar alternativas de calidad mediante la investigación y el desarrollo en I+D+i, formar recursos humanos a nivel de postgrado y prestar nuestros servicios científicos y tecnológicos a la comunidad.

La visión de LICATUC como parte de una institución de educación superior, es constituirse en centro de producción de conocimiento en el área de la catálisis, materiales, petroquímica plástica y química medioambiental, con reconocimiento local, nacional e internacional, en un término de diez años, debido a su carácter emprendedor en la exploración de soluciones a problemáticas

científicas e industriales, asegurando nuestra permanencia y competitividad, promoviendo la formación del recurso humano con excelencia a nivel de posgrado, mediante el fomento de la investigación, la innovación, la extensión y la docencia.

## **DINÁMICA DE FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS PARA LA FORMACIÓN EN INVESTIGACIÓN**

LICATUC está liderado por Aida Liliana Barbosa, quien ejerce la dirección, profesora de tiempo completo de la Universidad de Cartagena con formación doctoral en Ciencias de la Universidad de Zaragoza-España, y dos investigadores, Rosario Muñoz Martínez con formación en Maestría de Polímeros de la Universidad de Tennessee-USA, el profesor Luis Eduardo Cortés del Departamento de Física de la Universidad de Cartagena. Como Investigador Asociado al grupo, contamos con el doctor Guillermo Paternina Berrocal, actualmente en Brasil, quien posee formación doctoral, de la Universidad Salvador de Bahía-Brasil.

Estudiantes de maestría: LICATUC se nutre de estudiantes de maestría en química, cuyos cursos electivos son: Gestión de proyectos, caracterización y preparación de catalizadores, introducción a la catálisis heterogénea, procesos catalíticos industriales. Maestría en Ciencias Ambientales cuyos estudiantes son principalmente en la dirección de trabajos de grado; Maestría en Ingeniería Ambiental cuyos cursos son: Química del agua y procesos industriales de remoción de contaminantes. Maestría en Ciencias Físicas SUE Caribe, cuyos cursos electivos son: Física de materiales y fotofísica y Fotoquímica en procesos de oxidación avanzada PAOs; Programa de pregrado en química cuyos cursos son: química inorgánica general I y laboratorio de química inorgánica general I, curso electivo de petroquímica plástica, fundamentos de catálisis heterogénea; Programa técnico en procesos metrológicos, se apoyó con creación de manuales de laboratorio; Programa técnico y tecnológico en procesos químicos el cual fue gestado en un principio con interacción del Sena para

la industria petroquímica y profesores de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena. Entre los primeros egresados de la Maestría en Química está Isel Castro Sierra, quien obtuvo tesis laureada por su trabajo: Desarrollo de catalizadores a base de niobio para aplicaciones medioambientales.

Jóvenes Investigadores de Colciencias: desde 2010, Colciencias apoya a LICATUC con becas –pasantía para jóvenes investigadores e innovadores: Jesús Julio Carvajalino e Isel Castro (dos ocasiones), Jorge Andrés Mosquera, Jair Acosta, Luz Mary Mesino, María Victoria Vidal, Andrés Felipe Vega, Eduard Viviescas, obtenidas mediante convocatoria pública de méritos.

Semilleros de investigación: Estos se constituyen con estudiantes de pregrado a partir del cuarto semestre y están organizados en tres fases, que arrancan al principio del semestre con un encuentro semanal de una hora.

Primera fase, son estudiantes inquietos por el saber intelectual que pertenecen a 4° o 5° semestre y se interesan por desarrollar un tema o tópico relacionado con la catálisis, química inorgánica o química de materiales, reciben una instrucción del desarrollo del método científico e iniciación a la vida científica en su encuentro semanal.

Segunda fase, la constituyen estudiantes remanentes de la primera fase que están en 6° semestre, quienes han alcanzado a ver un espectro completo de la carrera y están más definidos por el área del saber químico que más les interesa. Al tener una conceptualización filosófica y pragmática del método científico, pueden realizar su primera propuesta de investigación de tipo formativo y realizar una búsqueda de antecedentes basados en el dominio de literatura científica específica sobre un tópico de química inorgánica, catálisis y química de materiales. El estudiante debe estar en capacidad de presentar su primer evento científico, en los encuentros de semilleros de investigación locales o nacionales.

Tercera fase, la constituyen estudiantes de 7°, 8° y 9° semestre en la fase de la asignatura de trabajo de grado, en esta etapa los estudiantes de 7° elaboran su propuesta de investigación buscando un tema innovador que aporte soluciones a un problema delimitado; en 8°, presentan su propuesta y empiezan a viabilizar con la infraestructura desarrollada en LICATUC, para terminar su desarrollo experimental en 9°. Los cursos electivos tomados permiten al estudiante prepararse para lo que puede ser su tema para postularse a Joven Investigador de Colciencias; el estudiante debe preparar una revisión, que debe ser publicada en una revista de carácter nacional y debe llevar su trabajo a un congreso de índole nacional o internacional. El estudiante debe tener claridad, para continuar su formación en investigación a nivel de pregrado y posgrado.

Entre los logros más sobresalientes se encuentran:

Formación de 36 estudiantes de pregrado, de los cuales 12 trabajan actualmente en la zona de Mamonal –Cartagena, en Cali (Eduardo Rodríguez), Tolima (Omar Caro), Bucaramanga (Jorge Suárez), Nilson Renteria en Singenta, algunos por ejemplo Julio Padilla, Eblin Carrillo ocupan cargos de Gerencia Media en la zona Industrial de Mamonal y son profesores en el Sena para el desarrollo de la industria petroquímica.

Cuatro estudiantes tienen posdoctorado, y doctorado Lewis Mortimer (USA), Esneyder Puello (Colombia), Farrow Cañavera (Colombia), Guillermo Paternina B (Brasil), Raquel Sofía del Toro (Venezuela), Heidys Cano (España); otros estudiantes, en la actualidad cursan doctorado en España Renson Visbal, y Malka Mora; en México, David Fortich; en Puerto Rico Sorelys Nieto.

Estudiantes que cursan en la actualidad la maestría:

Robert Causado Escobar, Maestría en Química

Eduardo de Río, Maestría en Ciencias Ambientales Sue Caribe

Julio Arrieta, en Ciencias Fisicsa-SUE Caribe

Candelaria Jiménez, Maestría en Ingeniería Ambiental

Johannys Ochoa, estudiante pasante de posgrado Universidad Nacional de Colombia-Universidad del Atlántico.

El Laboratorio ha brindado apoyo en la creación de programas de formación, técnica, tecnológica, ciclo profesional, maestría y doctorado, aportando la productividad, infraestructura y contribuyendo con los documentos del registro calificado y la sustentación ante los pares y delegados del Ministerio.

Maestría en Química 2004

Maestría en Ciencias Ambientales 2007

Maestría en Ingeniería Ambiental 2008

Maestría en Ciencias Físicas SUE Caribe 2005

Programa de pregrado en química 2001-2005

Programa técnico en procesos metrológicos 2010

Programa tecnológico en metrología industrial 2010

Programa técnico y tecnológico en procesos químicos

Programa de doctorado en Ciencias 2011

El aporte a estos procesos hoy nos permite contar con estudiantes de maestría y, en un futuro cercano de doctorado en Ciencias.

Como parte de nuestra productividad en los últimos diez años, se han publicado dos libros productos de investigación: *Estudio de caracterización del sector petroquímico colombiano*, 2008, ISBN: 978-958-15-0168-7 vol: 50 No .págs: 243, Editorial del Sena y *Memorias del VII Simposio de Catálisis SICCAT -2011* Autora Aida Liliana Barbosa, materia: Química y Ciencias Afines ISBN 978-958-8736-16-7. Además, siete artículos de publicación y cincuenta y seis artículos cortos en presentaciones en congresos nacionales e internacionales que nos han permitido difundir el nombre de la Universidad en los últimos diez años y haber sido seleccionados como grupo en la Costa Caribe para la organización del Simposio

Nacional y la presidencia del mismo, en el período 2009-2011, por primera vez desde sus inicios en el año 1986.

Entre las distinciones otorgadas debido a nuestra productividad tenemos:

Mención *Suma Cum Laude* a la tesis doctoral 2002 de la Universidad de Zaragoza.

Presentaciones como ponente, plenario invitado en congresos mundiales de química (XXI Latinoamericano de Química-Cartagena –Colombia 2010).

Ponente plenario sectorial en el Congreso Mundial de la IUPAC San Juan de Puerto Rico. Otorgamiento de la beca de la división de agroquímica de la American Chemical Society 2011) para la presentación de trabajos del grupo en el Simposio de cambios medioambientales para este milenio, concretamente en fotocátalisis de remoción de cianuro.

Obtención de beca completa de la American Science Foundation, para desarrollar estudios sobre propiedades electrónicas de sistemas complejos en el Pan American Advanced Studies Institute (PASI) 2011, convocatoria abierta realizada por la Universidad de Cartagena.

Otorgamiento de la condonación del 100% de la beca crédito de Colciencias de estudios doctorales a Aida Liliana Barbosa por la productividad académica y científica, ventana de estudio 2009-2011, según Resolución No, 01039 del 2001 del Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación. (Colciencias).

A la fecha, el Laboratorio de Investigaciones en Catálisis y Nuevos Materiales cuenta con dos sedes, una de ellas en el edificio de Farmacia, segundo piso y otra en el edificio de Programas a Distancia CREAD, para los estudiantes de postgrado.

### **ESPACIO LICATUC- EDIFICIO DE FARMACIA**

El Laboratorio de Catálisis y Nuevos Materiales de la Universidad de Cartagena, LICATUC ha invertido diez años desde el 2001 al

2011 en la implementación de infraestructura y equipo para el desarrollo de las investigaciones que realiza, contando con el apoyo económico de proyectos financiados por convocatorias internas de la Universidad, el Sena, Colciencias, a través de jóvenes investigadores y equipo donado por instituciones nacionales e internacionales. En la actualidad, asesora total y parcialmente, a siete estudiantes de maestría en diferentes facultades de la institución, en el área de catálisis y materiales.

### **Instituciones Internacionales financiadoras de LICATUC**

- Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Trieste Italia. 1995-1997
- Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas –IVIC
- Laboratorio de Fisicoquímica de Superficies doctor J.L Brito desde 1994, hasta la fecha
- Universidad de Zaragoza –Unidad Instrumental Electrónica y Laboratorio de Ingeniería de los Reactores 2001-2003
- Instituto Tecnológico de Zurich doctor Luca Fadini 2001 (equipo Uv-VIS)
- Instituto de Catálisis y Petróleo Química CSIC 2009-2011
- Cabot Colombiana 2011
- Secretaría Departamental de Salud de Bolívar 2010-2012
- Ajoever S.A
- Vicerrectoría de Investigaciones, Universidad de Cartagena desde 2001 hasta la fecha (planes de sostenibilidad y proyectos)
- Servicio Nacional de Aprendizaje, Sena, para el desarrollo de la industria petroquímica 2008
- Instituto de Materiales Avanzados IMPIC San Juan de Potosí-México, Dr. Vicente Rodríguez
- Bel Art Products Scienceware New Jersey USA, 2011 ingeniero Lenny Hernández

- Universidad de Harvard USA, doctora Betsy Navarro Hospital Oncológico de Niños- Boston
- Universidad de Salvador de Bahía, reactor de combustión, saturador
- Universidad Católica de Perú, doctora María del Rosario Sun
- Hospital Bocagrande, donación de cabina de flujo laminar

### **Países donde LICATUC ha mostrado su productividad:**

España, Estados Unidos, Puerto Rico, Venezuela, Francia, Tailandia, Argentina, Chile, México, Polinesia, Brasil.

A continuación se describen los sistemas experimentales diseñados, fabricados e implementados existentes en LICATUC Farmacia.

El laboratorio cuenta con sistemas experimentales diseñados, fabricados e implementados en la sede de Farmacia. Planta de combustión y reformado catalítico, que se implementó como parte de un proyecto financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones en el año 2001 y la Universidad de Zaragoza-España, la cual está compuesta de medidores de flujo másico Iberfluid, controlados por un equipo multicanal con capacidad para 4 MCF, fabricado y diseñado por la Unidad de Instrumentación Científica y traído desde la Universidad de Zaragoza, con una donación parcial consistente en el software y flete de transporte. Consta además, de horno de configuración vertical, metálico con recubrimiento interno de material refractario, está compuesto por dos resistencias de 18 metros dispuestas una en cada sección del horno; la resistencia tiene un calibre de 1 mm y trabaja bajo un potencial de 220 voltios (V) y 16 ohmios ( $\Omega$ ), que alcanza temperaturas superiores a 800°C.

Planta de reformado de metano en fase líquida montada en sus inicios por el ingeniero candidato a maestría de la Universidad Nacional Johannys Ochoa, y Eduard Viviescas proveniente este, del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Atlántico. Área de ocupación ,1.10 m de ancho por 2.10 m de altura

profundidad, 0.70 m, maneja líneas de CO<sub>2</sub>, metano proveniente de un sistema de surtidores con su manifold para el control de los gases. La planta está acoplada a un sistema de cromatografía de gases conectado por tuberías, posee una unidad de adquisición de datos que ocupa 1.50 m de ancho X 0.80 m de ancho para el análisis *in situ* de muestras gaseosas.

Planta producción de carbón activo con una área de ocupación de 2 metros de ancho por 1.0 m de altura y espesor de 70 cm, maneja líneas de CO<sub>2</sub>, aire proveniente de un sistema de surtidores cada uno con su manifold para el control de los gases. La planta está acoplada a un horno de gasificación con rampa de temperatura, el cual se controla a través de un termopar Matlow de rampa y una termocupla tipo K con un rango de temperatura de 30°C a 800°C. Dentro del horno se encuentra un reactor tipo canoa cuya salida va a parar a una trampa de alquitranes que se encuentra conectada por tubing plástico.

Cabina de aislamiento para reacciones fotoquímicas en oscuridad, esta fue construida para el desarrollo de reacciones fotoquímicas en fase oscura, las dimensiones son 2.50 m de longitud, 2.20m de ancho y 2.47 m de altura, área de 5.50 m<sup>2</sup>, diseñada y elaborada por LICATUC en madeflex, maneja líneas de aire proveniente de un compresor, timer de temperatura para reducción de energía, instalaciones eléctricas, y de agua de refrigeración, bombas recirculantes, sistemas de control de temperatura. La planta está acoplada a un reactor fotoquímico con chaqueta de enfriamiento y entrada y salida de reactivos. En el centro del reactor hay un pozo para la lámpara de mercurio, que por sus características debe estar a oscura. En la actualidad se construye la planta de producción de estireno, adaptando elementos de un equipo de ventilación que posee contenedores de oxígeno, mangueras y suministro de gases stock numero 309-12-800, donado en 2011 por la Secretaría Departamental de Bolívar para fines científicos. Área estimada que ocupará la planta 1.50 m de ancho por 2.10 m de altura, profundidad 0.70 m, maneja líneas

de CO<sub>2</sub>, dos saturadores de etilbenceno y trampas recolectoras de benceno, tolueno y etilbenceno sin reaccionar. Contará con un sistema de manometría y de rotámetros para el control de la presión y de los flujos de entrada y salida a un reactor de lecho fijo en acero que opera dentro de un horno cilíndrico de 40 cm de alto con un diámetro externo de 0.10m.

En el área de reacciones avanzadas de oxidación se está implementando una planta piloto para la remoción de contaminantes mineros utilizando fotocátalisis cuyas dimensiones son 2.50 m de longitud, 2.20 m de ancho por 2.47 m de altura, área de 5.50 m<sup>2</sup>, diseñada y elaborada en LICATUC con el financiamiento de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Cartagena 2010. Consta de un tanque alimentador en fibra de vidrio con capacidad de 50L, reactor cilíndrico parabólico fabricado en Colombia bajo diseño del ingeniero químico Omar Tirado (tesista de postgrado LICATUC) y personal del laboratorio, bomba de recirculación con tanque incorporado de reserva de la solución de contaminante, toma muestra, instalaciones eléctricas y de agua de refrigeración, bombas recirculantes.

## **Publicaciones en los últimos diez años**

Aida Liliana Barbosa L., Javier Herguido, Jesús Santamaría, "Methane combustion over unsupported iron oxide." In: United States Catalysis Today ISSN: 0920-5861 ed: Elsevier V.64 fasc. p.43 - 50, 2001.

Aida Liliana Barbosa L., Javier Herguido, Minerva Burillo, Jesús Santamaría, "The influence of the permeation regime on the activity of catalytic membranes for methane combustion." In: United States Journal of Catalysis ISSN: 0021-9517 ed: fasc.218 v.1 p.457 - 459, 2003.

Aida Liliana Barbosa L., Édgar Quiñonez, Javier Mouthón, "Study of behavior of semipermeable hydrophilic membrane by pervaporation from removal of salts selenium, boron and glucose

solution, with respect to its textural properties.” In: Colombia, Scientia Et Technica ISSN: 0122-1701 ed: Universidad Tecnológica de Pereira, fasc. XIII V.36 p.113 - 117, 2007.

Aida Liliana Barbosa L., “Physicochemical studies of the deterioration of the stone from the walls of Cartagena de Indias, Colombia.” In: Colombia Ciencia e Ingeniería al Día ISSN: 1900-768X ed: Editorial of Universidad de Cartagena fasc.1 v.1 p.97 - 102, 2008.

Aida Liliana Barbosa, Isel Castro Photocatalytic cyanide removal using TiO<sub>2</sub>, FeMoO<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>, and HPMoCu/TiO<sub>2</sub> under simulated solar light and parabolic cylindrical collector reactor (PCCR). In: Chile Avances en Ciencias e Ingeniería ISSN: 0718-8706 ed. Executive Business School Carlos Rojas editor. 2011.

Aida Liliana Barbosa Luz Zamora Black smoke remainder as alternative for removal of H<sub>2</sub>S in residual urban waters send Ingeniería e Investigación National University of Colombia, Book Chapter.

Aida Liliana Barbosa L, Javier Herguido, Jesús Santamaría, Alejandra Sanz, Antonio Monzón, “Studies in surface science and catalysis,” In:Holland 2001. ed: Elsevier Science Bv ISBN: 044450477x v. 20 pages. 8.

Aida Liliana Barbosa L., “Compendio estadístico Cartagena de Indias 2006 In: Colombia. 2006. Cartagena Statistical Compendium 2005 In Brief. ISSN: 1909-0609 p.157 - 159 v.1.

Aida Liliana Barbosa L., Álvaro José Vásquez Rueda, “Characterization study of the Colombian petrochemical sector” In: Colombia 2008. ed: National Service Learning ISBN: 978-958-15-0168-7 v. 50 pages. 243.

Breathing the Caribbean. Vol III Proceedings of the third meeting of investigators on the Colombian Caribbean Observatorio del Caribe Colombiano Assessment of the research in the field Petrochemical and Plastics in Cartagena de Indias-Colombia ISBN: 978-958-98301-7-8 Editorial Gente Nueva Ltda Editor,

Patricia Iriarte 2009 Abstracts, Poster Presentations and Exhibits Presented at professional meetings.

Aida Liliana Barbosa L., Joaquín Luis Brito, "Activity of unsupported catalysts based on divalent metal molybdates" En: Chile. 1994. Event: XIV Iberoamerican Symposium on Catalysis Paper: Paper: Proceedings XIV Iberoamerican Symposium on Catalysis, Sociedad Chilena De Química, p.1423 - 1427.

Aida Liliana Barbosa L., "HDS activity of unsupported sulfided Catalysts Obtained from Fe, Co and Ni molybdates" In: Colombia. 1995. Event: 14 Th North American Catalysis Society of the Paper: Paper: Act 14 Th of the North American Catalysis Society, North American Catalysis Society, p.145 - 146.

Joaquín Luis Brito, Petra Hernández, Aida Liliana Barbosa L, Rosario Muñoz, Juan Rodríguez, Simón Chaturvedi, "Molybdate and heteropolymolybdates of Fe, Co and Ni as catalysts precursors for hydrodesulfurization" In: Colombia. 1998. Event: XVI Iberoamerican Symposium on Catalysis Paper: Paper: Catalysts and Adsorbents for Environmental Protection in the Iberoamerican region, Printers Ltd, p.7 - 12, v.1.

Aida Liliana Barbosa L, Javier Herguido, Jesús Santamaría, Noé Nava, Ascensión Montoya, "Total combustion of methane with hematite, catalytic properties of Fe<sup>3+</sup>" In: Spain. 1999. Event: Meeting of the Spanish Society of Catalysis, p.221 - 222, v.

Aida Liliana Barbosa L, Javier Herguido, Jesús Santamaría, "Methane combustion over iron oxide catalysts" In: Italy. 1999. Event: Fourth European Congress on catalysis Europacat-IV Paper: Paper: Proceedings 4th. European Congress on Catalysis (Book of Abstracts), Societa Chimica Italiana, p.15 - 15, v.

Joaquín Luis Brito, Diana Posada, Soraya González, Simon Wohnsiedler, Sorelys Nieto, Aida Liliana Barbosa L, Rosario Munoz, "Iron as a promoter in the HDS of thiophene: a comparison of ferrous and ferrous precursors" In: Portugal. 2000. Event: Catalis XVII Iberoamerican Symposium Paper: Paper: Proceedings of

the seventeenth Ibero-American Symposium on Catalysis., FEUP Edições, p.149 - 154, v.1.

Aida Liliana Barbosa L, Javier Herguido, Jesús Santamaría, Alejandra Sanz, Antonio Monzón, "Studies in surface science and catalysis." Catalyst Deactivation 2001, Proceedings of the 9th International Symposium. In: Holland ed: Elsevier Science Bv, v.20, p.487 - 494 01 672, 2001.

Aida Liliana Barbosa L, Javier Herguido, Jesús Santamaría, Miguel Artigas, "Combustion of methane over Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> In: Spain. 2001. Event: Meeting of the Spanish Catalysis Society Memories, p.145 - 147, v. <, Fasc.2.

Aida Liliana Barbosa L, Rosario Muñoz, Joaquín Luis Brito, Esneyder Puello Polo, Raquel Sofía Del Toro, "Synthesis, characterization and HDS activity and Fe-Mo/MgO FeMoO<sub>4</sub>" In: Mexico. 2004. Event: XIX Ibero American Catalysis Symposium Paper: Synthesis, characterization and HDS activity and Fe-Mo/MgO FeMoO<sub>4</sub> Book: Nineteenth Iberoamerican Symposium on Catalysis. Complete works, xix Sicat, p.3857 - 3858, v.3.

Aida Liliana Barbosa L, Robert Causado, Luis Eduardo Cortés, Lucía Carmona, Rafael Molina, "Synthesis and characterization of supported catalysts NiMo type / CaO, FeMo / CaO and marine biomaterial Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CaO using as a source of calcium oxide" in: Spain. 2005. Event: 05 SECAT Spanish Catalysis Meeting Paper: Secat Spanish Catalysis, Society and Universidad Rey Juan Carlos, p.371 - 372, v.1 <, fasc.1.

Aida Liliana Barbosa L, Javier Herguido, "Producing iron oxide nanoparticles using hydrothermal method" In: Colombia. 2007. Event: Second National Symposium on Nanotechnology, Nanoforum Colombia 2007 Report: Paper: Proceedings Second National Symposium on Nanotechnology, Nanoforum Colombia 2007, Latin American Foundation for the Advancement of Science-FUNLACI. , P.15 - v.1.

Heidy Cano, Orlando de la Rosa, Aida Liliana Barbosa L. "Novel Catalytic systems based niobium, titanium with transition metals as for the removal of iron cyanide by heterogeneous photocatalysis." In: Colombia. 2008. Event: II Latin American Symposium on Advanced Oxidation Processes and their combinations with other processes: Principles and Applications Paper.

Aida Liliana Barbosa L, Heidy Cano, "Photocatalytic oxidation of cyanide using titanium dioxide and titanium dioxide doped with heteropolymolybdates of copper (II) molybdate and iron (II) CPC collector" In: Spain. 2008. Event: Iberoamerican Symposium on Catalysis XXI (21). Benalmadena (Malaga), Spain Paper: photocatalytic oxidation of cyanide using titanium dioxide and titanium dioxide doped with heteropolymolybdates of copper (II) molybdate and iron (II) CPC collector Book: P Spanish Catalysis Society, p 259-268, v.1 <, fasc.1.

Aida Liliana Barbosa L, Karen Durán Amor, Heterogeneous photocatalysis by removal of lead in wastewater using a catalyst  $\text{TiO}_2$  P-25 and P-25  $\text{TiO}_2$  doped with iron-based compound and molybdenum" In: Spain. 2008. Event: Iberoamerican Symposium on Catalysis XXI (21). No.21. Benalmadena (Málaga), Spain Paper:, Spanish Catalysis Society , p.1567 - 1576, v.21 <, fasc.1.

Aida Liliana Barbosa L, "Photocatalytic degradation of cyanide present in the Colombian meaning areas in Barranco de Loba (Bolívar)-Colombia " In: Spain. 2008. Event: XXI Ibero-American Symposium on Catalysis, Benalmádena (Spain).Spanish Society of Catalysis, p.1069-- 1075, v.1 <, fasc. 1.

Aida Liliana Barbosa L, "Removal of lead in wastewater by using doped  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2$  based compound and Iron molybdenum" In: Spain. 2009. Event: IX EuropaCat Catalysis for a Sustainable World Report, Book: Memories of EuropaCat IX Catalysis for a Sustainable World, General Foundations Universidad de Salamanca E-37002 Salamanca. Spain Spanish Catalysis Society, p.1 - 3, vP <, fasc.72.

Aida Liliana Barbosa L, "Development of niobium-titanium niobium catalysts and with transition metal" In: Spain. 2009. Event: IX EuropaCat Catalysis for a Sustainable World Report: Development of titanium niobium and niobium catalysts and with transition metal Book: Memories of EuropaCat IX Catalysis for a Sustainable World, General Foundations Universidad de Salamanca E-37002 Salamanca. Spain Spanish Catalysis Society, p.1 - 3, vP , fasc 42.

Omar Tirado, Aida Liliana Barbosa L, "Design of rotatory photoreactor (FTR) on a pilot scale for removal cyanide. In: Spain. 2009. Event: IX EuropaCat Catalysis for a Sustainable World Report:Book: Memories of EUROPACAT'09 9 th European Congress on Catalysis: Catalysis for a Sustainable World, Spanish Society of Catalysis, The EFCATS Council, p.1 - 3, v.P5 <, fasc.-41.

Barbosa, Aida, Tirado, Omar; Sánchez, Yazmín, Herrera, Rodolfo; Methodology development for biodegradability evaluating of mining wastewater treated by photocatalysis Latin American Chemistry Congress, CLAQ Cartagena- Colombia october 2010.

Aida Liliana Barbosa López, Isel Castro Sierra, Raúl Martínez Aparicio-S. Influence of the morphology of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.3H<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> SnO<sub>2</sub> in photocatalytic removal of cyanide, 15th International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications (TiO<sub>2</sub>-15) [TiO<sub>2</sub>-P7] San Diego California November 15 , 2010.

Aida Liliana Barbosa López, Isel Castro Sierra, Raúl Martínez Aparicio-S Photocatalytic degradation of cyanides present in wastewater from the mining industry using high surface area Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.3H<sub>2</sub>O as catalysts .The 15th International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications (TiO<sub>2</sub>-15) [TiO<sub>2</sub>-P8] San Diego California November 15 ,2010.

Barbosa, A.L\*.; Tirado, O.; Isel Castro.; Suárez,J.C.; Martínez-Aparicio, R. "Designing and assembly of a pilot plant of degradation of cyanide in mining wastewaters" symposium is "Advanced physico-chemical techniques to solve environmental science

challenges, 43 World Congress in chemistry IUPAC Puerto Rico – USA- July 2011 ISBN: 978-0-615-52557-0.

Barbosa, A.L.; Meza, P.; Caro, V. Moreno, L.C.; Valencia-Rios, J. Instrumental techniques FT-IR, Raman and XRD for the analysis of corrosion in metallic archaeological artefacts 43 World Congress in chemistry IUPAC Puerto Rico – USA- July 2011 ISBN: 978-0-615-52557-0.

Aida Liliana Barbosa; Jorge Mosquera. Raman spectroscopy for iron phases detection in ancient metal artifacts. International course of electronic properties of complex systems. Pan American Advanced Studies Institute (PASI). American Science Foundation-Universidad Nacional de Colombia. Cartagena-Colombia. June 2011.

Aida Liliana Barbosa, Lucía Carmona. Mortars obtained from oyster shell. 14 Asian Chemical Congress (ACC) Federations of Asian Chemical Societies (FACS). Chemical Society of Thailand (CST) Bangkok, Thailand, 5 to 8 September 2011.

Aida Liliana Barbosa, Omar Caro. Removal of cyanide by tin oxide nanostructured. 14 Asian Chemical Congress (ACC) Federations of Asian Chemical Societies (FACS). Chemical Society of Thailand (CST) Bangkok, Thailand del 5 to 8 September 2011.

Como proyección se espera que en ocho años, el grupo posea implementado el laboratorio de procesos catalíticos financiado por Colciencias, con plantas experimentales para reacciones de petroquímica e hidrotratamiento; tenga alrededor de 20 artículos en revistas arbitradas y registrado un producto de utilidad; que algunas de nuestras investigaciones sean útiles en las decisiones a nivel estatal, para el mejoramiento social regional y nacional en cuidado patrimonial; que el grupo mantenga sus esfuerzos en la búsqueda de catalizadores que puedan ser activos en varios ciclos de reacción y que se empleen materiales nativos colombianos para reacciones catalíticas, Podrían ser el hierro y el niobio.

Al 2013, en un periodo de cinco años, se han incorporado nuevos grupos como el de combustibles y materiales en el Departamento de Química liderado por Edgardo Meza, egresado del Departamento de Química de Unicartagena con el Doctorado en Tecnologías para la Producción de Hidrógeno, quien estuvo en la Universidad de Salvador de Bahía bajo la dirección de la doctora María Do Carmo Rangel, una de las pioneras de la catálisis en el nordeste brasileño. Existen también grupos nacientes en el año 2008 en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena, liderados por personas que hace más de una década realizan catálisis, como es el caso del doctor José Colina, experto en Tecnologías Avanzadas de Oxidación, AOP para remoción de contaminantes en efluentes residuales, y el profesor Miguel Mueses, experto en modelamiento de fotoreactores, quienes cuentan con proyectos aprobados y artículos en revistas arbitradas, y una cooperación estrecha con la Universidad del Valle con el profesor Fiderman Machuca.

Entre sus trabajos más sobresalientes se cuentan:

*Radiation absorption and optimization of solar photocatalytic reactors for environmental applications.* José Colina Márquez, Fiderman Machuca-Martínez, Gianluca Li Puma. *Environmental Science and Technology* 07/2010;44(13):5112-20.

Photocatalytic mineriraloizacion of comercial herbicides in a pilot scale solar CPC reactor: photoreactor modeling and reaction kinetics constants independent of radiation field. Jose Colina-Márquez, Fiderman Machuca-Martínez, Gianluca Li Puma. *Environmental Science and Technology* 12/2009:43(23):8953-60.

Modeling of direct solar radiation in a compound parabolic collector (CPC) with the ray tracing technique, Jose A Colina-Márquez, Andrés F. López Vásquez, Fiderman Machuca Martínez *Dyna.* 01/2010.

Photocatalytic treatment of a dye polluted industrial effluent with a solar pilot-scale CPC reactor. José Colina-Márquez, Andrés

F. López, Diana Díaz, Andrés Rondón, Fiderman Machuca-Martínez. *Journal of Advanced Oxidation Technologies* 12/2008; 12(1):93-99.

Degradación fotocatalítica de ácido dicloroacético al aplicar un campo de radiación de baja energía. Miguel Mueses, Jose Colina-Márquez, Fiderman Machuca-Martínez.

Con la conformación de un grupo de profesores enmarcados entre las ciencias exactas y naturales y las ciencias de la ingeniería y física, se ha constituido un equipo que ha llevado a la Universidad de Cartagena a posesionarse como vanguardia del desarrollo de la catálisis en la Costa Caribe en los años 2013-2014.

# CAPÍTULO 8

## ENCUENTROS DE CATÁLISIS. PERSPECTIVA ACTUAL Y FUTURA

Por

Aida Liliana Barbosa López, Ph.D.

Laboratorio de Investigaciones en Catálisis y Nuevos Materiales  
LICATUC, Universidad de Cartagena

La oportunidad de generar conocimiento nuevo, mostrando el avance de las ideas, pudiendo establecer alianzas fructíferas con grupos antiguos y consolidados, se da en las reuniones científicas sobre catálisis, que como hemos descrito fueron a partir de 1983.

Con el apoyo de Colciencias, se organizó un comité de profesores, la mayoría de ellos con doctorado en áreas donde hubiera espacios de desarrollo. El grupo de Catálisis Heterogénea del Departamento de Química, de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional de Colombia, organizó y realizó el primer Simposio Nacional de Catálisis, que se retomó después de tres años por los profesores Aristóbulo Centeno y Édgar Páez, en 1986 en Bucaramanga. Debido a que en ese momento el problema de la mayoría de los grupos era la infraestructura, el financiamiento se utilizó para dotación, después los recursos se centraron en desarrollo de proyectos, para la consolidación de la actividad catalítica en el Instituto Colombiano

del Petróleo (ICP), que permitía mostrar el trabajo limitado de los grupos.

En 1988, los profesores Fanor Mondragón y Carlos Saldarriaga consolidan una comunidad que prepara el III Simposio Nacional en Medellín, donde participan cerca de setenta personas. En el año 1990, se retoma por los profesores Alfredo Oviedo, Mario Álvarez Carvallo, Carlos Sánchez en Bogotá, quienes realizan el IV Simposio Colombiano de Catálisis, con los primeros trabajos expuestos por estudiantes de posgrado, rompiéndose su continuidad por la crisis económica que afectó los recursos que financiaba Colciencias, en especial para un equipo robusto e infraestructura. En este período los grupos sobreviven con la cooperación establecida con Francia, Bélgica, Brasil, España, Venezuela, Argentina. Sólo hasta el año 1997, se logra reunir de nuevo a la comunidad catalítica para realizar el V Simposio Colombiano de Catálisis. Se abonan los esfuerzos por unir y organizar la Sociedad Colombiana de Catálisis, para mantener la continuidad de los simposios nacionales, tener una representación a nivel iberoamericano, lográndose los primeros pasos de una internacionalización de la disciplina.

A la vez de la representación en la Federación de Sociedades de Catálisis FISOCAT, optaron por algunos de los beneficios de los premios, movilidades y redes de cooperación; la participación continua de algunos de los profesores catalíticos en eventos a nivel iberoamericano hizo que se aprovechara un momento coyuntural, donde había dieciséis investigadores colombianos, que participaban con frecuencia en el Simposio Iberoamericano de Catálisis, hoy día Congreso Iberoamericano de Catálisis, permitiendo presentar a Colombia, con vocería de los profesores Édgar Páez, Sonia Giraldo y Aristóbulo Centeno, la sede para el evento, que ocupa el cuarto puesto en importancia a nivel mundial; obtuvieron la sede para agosto de 1998, en la ciudad de Cartagena de Indias, de la versión XVI del Simposio Iberoamericano de Catálisis, cuya organización estuvo a cargo de los tres profesores mencionados del Centro de Investigaciones en Catálisis (CICAT) de

la Universidad Industrial de Santander (UIS). Colombia volvería a ser sede en 2014 pero esta vez en agosto en Medellín.

En 1998, en el transcurso del simposio, los representantes de las sociedades nacionales de los países iberoamericanos, decidieron fundar la Federación Iberoamericana de Sociedades de catálisis (FISOCAT), para continuar las actividades conjuntas realizadas hasta el momento y estimular otras de carácter multinacional, encaminadas a destacar la importancia del papel de la catálisis, como materia de investigación científica y técnica, con el liderazgo de Carlos Apesteguía de Argentina, como presidente.

La FISOCAT se constituyó formalmente en 1999, con base en los estatutos aprobados por la Asamblea General; en este evento se eligen sus primeras autoridades. Se trazaron como objetivos, organizar cada dos años el Simposio Iberoamericano de Catálisis, hoy día congreso denominado CICAT, aglutinar las diferentes sociedades de catálisis, fomentar becas y premios de excelencia en esta área. En Colombia, a partir de 1998, la falta de estructuración y el caminar como sociedad, nos hace caer una vez más en el letargo y sólo diez años después en la misma Bucaramanga por iniciativa de los profesores de la UIS, se realizó el VI Simposio Colombiano de Catálisis con el apoyo de los profesores Marta Niño y Fernando Martínez, siendo la primera estructura de la Sociedad Colombiana de Catálisis, lográndose convocar masivamente la comunidad, aprovechando la plataforma de Colciencias con el Grulac, que organizó el trabajo y nos permitió conocer las líneas principales que cada grupo realizaba y la apertura de grupos nuevos.

En el año 2009, los profesores Consuelo Montes, Fanor Mondragón, Aida Luz Villa y Andrés Moreno entre otros, organizan el VII Simposio Colombiano de Catálisis, muestran la imagen de un trabajo estructurado, cuya inscripción y envío de trabajos se sistematizan por página web, con la logística a cargo de la Universidad de Antioquia y una cuidadosa selección de trabajos orales y plenarias, con una masiva participación de profesores, jefes de grupo y estudiantes de maestría y doctorado. Allí se

concluye que, como sociedad, debe propiciarse el fomento de la catálisis y el apoyo a grupos recientes en trayectoria, que muestran capacidades de organización y relaciones externas que permitan traer conferencistas de talla internacional. Es por ello por lo que, en el año 2011, se le adjudica a la Universidad de Cartagena, Laboratorio de Investigaciones en Catálisis y Nuevos Materiales, LICATUC, la sede para desarrollar el VIII Simposio Colombiano bajo la dirección de la profesora Aida Liliana Barbosa, contando con la ayuda de la Universidad del Valle; por mediación del profesor Fiderman Machuca, se trajo al profesor Gian Luca Lipuma, profesor del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Loughborough del Reino Unido, experto en fotocatalisis e ingeniería de fotoreactores, quien presentó la conferencia titulada *“Green hydrogen production from sunlight, biomass and wáter”*. La Universidad de Córdoba, mediante gestiones del profesor Mario Barrera, invitó al doctor Vicente Cortés Corberán del Instituto de Catálisis y Petróleo Química, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

La Universidad del Cauca, mediante gestiones del profesor Alfonso Ramírez, aportó la presencia del doctor Yannick Pouilloux del Laboratoire de Catalyse en Chimie Organique UMR, perteneciente al Consejo Científico de Investigaciones Francés CNRC, ubicado en Poitiers –Francia, impartió la conferencia titulada *“Shynthesis of ceramide analogous over solid catalysis: an example of green process development.”* La Universidad de Cartagena a través de la vicerrectoría aportó la presencia de la doctora María Do Carmo Rangel proveniente de la Escuela de Química de la Universidad de Salvador de Bahía -Brasil con la conferencia *“Producción de estireno sobre catalizadores ambientalmente amigables”*. Como trabajo invitado, la Universidad de Antioquia, a través de la profesora Aida Luz Villa y Consuelo Montes, invitó a la doctora Ileana Daniela Lick, de Cindeca en La Plata–Argentina, quien disertó sobre *“Catalizadores para la combustión de material particulado en presencia de NO/O<sub>2</sub>, influencia de la concentración del ion nitrato”*.

Por primera vez se logró convocar a la sociedad y contar con una rigurosa selección de las plenarias, apoyando las líneas actuales de la catálisis colombiana, mostrando un trabajo mancomunado e invitando a integrantes de los veintiún grupos de investigación consolidados y nuevos, que incluyen en sus líneas reacciones catalíticas o síntesis de catalizadores, incluyendo por primera vez biocatálisis y catálisis enzimática desarrollada en la Universidad del Tolima. Esto fue el preámbulo para la preparación de la candidatura, por parte de la Sociedad Colombiana de Catálisis, para organizar el Iberoamericano de Catálisis llevado a cabo en agosto 2014 con un rotundo éxito por parte de los grupos de investigación de la Universidad de Antioquia y de la Universidad Nacional, bajo la presidencia del doctor Fanor Mondragón y vicepresidencia de Rafael Molina Gallego.

En el año 2013, Colombia tiene un marcado grupo de investigadores incluyendo estudiantes de postgrado, maestría y doctorado trabajando en catálisis ambiental, producción de energías y tecnologías limpias, oleoquímica, química fina y procesos petroquímicos catalíticos. La escuela de síntesis y métodos nuevos de obtención de materiales con interés en catálisis, está incorporando grupos de química inorgánica y nanociencia. Colombia ocupó el quinto lugar en publicaciones según crónica del periódico El Tiempo del 21 de abril del 2013, utilizando la base de datos Scopus, teniendo por encima a Brasil sobre Argentina y México. No obstante hay que seguir reflexionando qué pasos debemos adelantar para sacar la catálisis hecha en el laboratorio y del aula, hacia el desarrollo innovador que genere patentes, productos de utilidad que nos posicionen estratégicamente a nivel mundial, lo que en parte podría asegurar la autosostenibilidad, mejor infraestructura y poder transferir recurso humano y tecnológico altamente calificado y preparar al recurso humano nacional para su ubicación en el exterior con mejores garantías, acogiendo las tendencias mundiales y emulando sistemas internacionales como el japonés.



La impresión de este libro se realizó en papel bond blanco 90 grs. para páginas interiores y propalcote de 280 grs. para la portada con plastificado mate. Con un tiraje de 200 ejemplares. El libro *VEINTE AÑOS DEL DESARROLLO DE LA CATÁLISIS EN COLOMBIA*, de los autores Aida Liliana Barbosa y Édgar Páez Mozo, se diseñó y diagramó en la Editorial Universitaria - Sección de Publicaciones de la Universidad de Cartagena y se terminó de imprimir en el año 2016 en la empresa Alpha Impresores, en la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia.

