

Catálisis en Colombia: estado actual y oportunidades para el futuro

Juan D. Henao L. y Consuelo Montes de C.**

(Recibido el 17 de diciembre de 2001)

Resumen

En este artículo se hace una revisión del estado actual de la catálisis en Colombia. Se empieza con una reseña sobre las tendencias mundiales en aspectos relacionados con la química y el medio ambiente, mostrando cómo dichas tendencias han influido en la investigación sobre Catálisis que se realiza en Colombia. Luego se plantean algunos retos que surgen de las necesidades de la industria nacional resaltando una serie de oportunidades, previamente identificadas, para el desarrollo de tecnologías catalíticas con base en la gran cantidad de recursos naturales disponibles en nuestro país.

----- *Palabras clave:* catálisis, energía, procesos limpios, recursos naturales renovables.

Environmental catalysis in Colombia: state of the art and future opportunities

Abstract

The current state of catalysis in Colombia is reviewed in this paper. First, the worldwide trends in Chemistry and Environment are outlined together with their influence on the research activities carried out in Colombia in the field of Catalysis. Also the technological challenges derived from the needs of the national industry are described. Special emphasis is paid on previously identified opportunities for the development of catalytic technologies, based on the abundance of natural resources in our country.

----- *Key words:* catalysis, energy, clean processes, renewable resources.

* Grupo Catálisis Ambiental. cmontes@carios.udea.edu.co

Introducción

La tecnología catalítica ha desempeñado un papel protagónico en el desarrollo de las sociedades, ya que ha permitido la producción en masa de la gran mayoría de productos químicos y combustibles sobre los cuales se sustentan sus economías [1]. En los últimos años, además de su rol tradicional en la industria petroquímica, la catálisis ha mostrado ser una de las alternativas tecnológicas más viables para disminuir la contaminación ambiental. Con este fin, se han desarrollado y utilizado catalizadores útiles en procesos de descontaminación; además, se investiga con ahínco el desarrollo de nuevos procesos catalíticos que permitan sustituir aquellos tradicionales altamente contaminantes, por otros menos agresivos con el entorno.

Actualmente, el desarrollo de la tecnología catalítica se concentra en tres grandes áreas: refinación del petróleo, producción química y descontaminación ambiental. De estas tres, la última se perfila como la de mayor evolución en los años venideros, dada la necesidad de evitar o mitigar el creciente deterioro del medio ambiente [1]. Debe reconocerse además, que si una tecnología catalítica permite optimizar un proceso, tendrá efecto directo sobre el medio ambiente, ya que la producción y consumo de energía están estrechamente relacionados con la contaminación ambiental.

Por lo tanto, existen importantes retos para la catálisis a nivel mundial, algunos de los cuales consisten en mejorar los procesos para disminuir su impacto sobre el ambiente y otros en el desarrollo de tecnologías que permitan eliminar los desechos contaminantes una vez formados. En el primer caso existen varios ejemplos: la producción de combustibles a partir de fuentes no tradicionales, el control detallado de la composición de los combustibles y de los procesos de combustión [2-4], la búsqueda de procesos heterogéneos en el área de química fina y el uso de sólidos ácidos como catalizadores en las reacciones ácido/base y redox en reemplazo de los ácidos y oxidantes utilizados en los procesos con-

vencionales; también existe gran interés en utilizar catalizadores heterogéneos para reacciones como las aminaciones, la isomerización de epóxidos, la alquilación de N y O, la nitración de aromáticos, la oxidación con oxígeno molecular, las reacciones de reducción con hidrógeno y las amoxicaciones y amoxidaciones con peróxido de hidrógeno. Se plantea además, la inmovilización de catalizadores homogéneos activos y el desarrollo de catalizadores heterogéneos para las reacciones de Friedel-Crafts [5].

En el área de la descontaminación ambiental, se han logrado soluciones a varios de los principales contaminantes atmosféricos, pero en muchos casos el problema persiste. Actualmente se cuenta con tecnologías aceptables para el control de CO, VOC, material particulado, CH₄ y N₂O; no obstante, no se conoce ninguna solución definitiva al problema del CO₂, SO₂ o NO_x. De igual manera sucede con los contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua [6-7].

Como consecuencia de lo anterior, en el medio académico e industrial internacional se plantea la necesidad de desarrollar procesos catalíticos alternativos que permitan por ejemplo, utilizar tecnologías limpias para la combustión de gas natural o para transformarlo a productos de mayor valor agregado, el mejoramiento de la tecnología de celdas combustibles, la producción de H₂ sin CO/CO₂ como subproductos, el diseño de catalizadores capaces de despolimerizar mezclas de polímeros con el fin de reciclar sus componentes monoméricos, y en general, el mejoramiento de los procesos para minimizar o evitar la utilización-producción de sustancias nocivas para el medio ambiente [8-10].

Naturalmente, la investigación sobre catálisis que se realiza en Colombia no es ajena a estas tendencias mundiales. En este artículo se hace una revisión del estado actual de la catálisis en Colombia, con base en las actividades desarrolladas por los principales centros y grupos de investigación con que cuenta el país en este campo. De igual manera se identifican algunas de las perspectivas futuras, a la luz de las tenden-

cias mundiales mencionadas y de las necesidades nacionales.

Centros y grupos colombianos que investigan en temas relacionados con catálisis

Los principales centros y grupos de investigación en catálisis en Colombia, se encuentran localizados en la Universidad de Antioquia, la Universidad Industrial de Santander, la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), aunque también se desarrollan estas actividades en la Universidad del Valle y las Universidades de América, Cartagena, Cauca y Pontificia Bolivariana.

En la tabla 1 se muestran los principales grupos en las universidades mencionadas. La Universidad de Antioquia cuenta con tres de ellos, la Universidad Industrial de Santander con dos y la Universidad Nacional con dos.

Aunque en sus comienzos estos grupos contaban con poco personal especializado de alto nivel, algunos vínculos creados con instituciones internacionales y el apoyo brindado por Colciencias ha permitido el fortalecimiento gradual de la comunidad científica nacional, de tal manera que en los últimos cinco años, se ha duplicado el número

de investigadores dedicados a la catálisis en Colombia. Otro factor que ha contribuido a este crecimiento, ha sido la relación existente entre Catálisis y Medio Ambiente. Los catalizadores son intermediarios químicos que permiten que una reacción se lleve a cabo sin consumirse en el proceso. Aunque los catalizadores no forman parte de los productos, afectan la velocidad de reacción y la formación de subproductos. Un catalizador selectivo incrementa la producción del compuesto deseado reduciendo el consumo de energía y la formación de subproductos, lo que implica menor cantidad de efluentes por tratar.

Prueba del desarrollo gradual experimentado por los grupos mencionados, la constituye su creciente participación en los Simposios Iberoamericanos de Catálisis y en los Congresos Colombianos de Química e Ingeniería Química. En las figuras 1 a 3 se resume esta información.

Como se observa, la participación no sólo se refleja en la cantidad de trabajos presentados en los citados eventos, sino también en el número de instituciones participantes. Así, en el XII Congreso Colombiano de Química se presentaron contribuciones en catálisis de las universidades de América, Cartagena y Cauca, cuya participación en eventos anteriores había sido prácticamente nula.

Tabla 1 Principales grupos y centros de investigación en catálisis en Colombia

<i>Institución</i>	<i>Grupos y centros de investigación</i>
Universidad de Antioquia	Grupo Catálisis Ambiental Grupo de Química de los Recursos Energéticos y Naturales Grupo de Ciencia de los Materiales
Universidad Industrial de Santander	Centro de Investigaciones en Catálisis Biorreguladores de bajo peso molecular
Universidad Nacional - Bogotá	Centro de Catálisis Heterogénea Grupo Procesos Catalíticos
<i>Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)</i>	

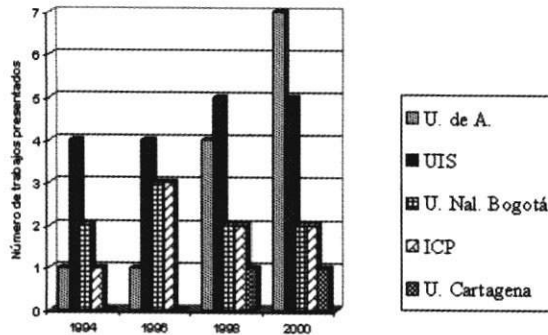


Figura 1 Participación de investigadores colombianos en el área de catálisis, en los Simposios Ibero-americanos de Catálisis realizados entre 1994-2000

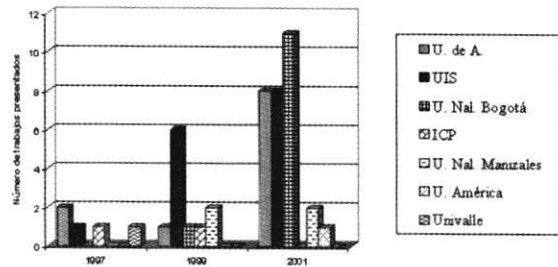


Figura 2 Participación de investigadores colombianos en el área de catálisis, en los tres últimos Congresos Colombianos de Ingeniería Química

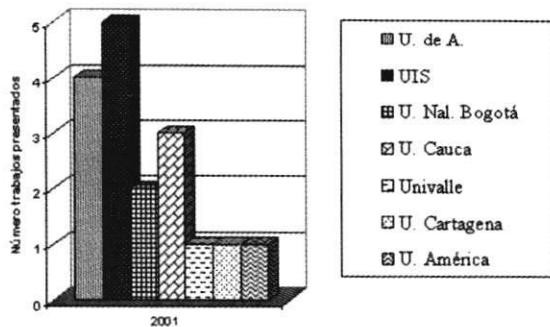


Figura 3 Participación de investigadores colombianos en el área de catálisis, en el XII Congreso Colombiano de Química

Principales áreas de investigación

La investigación actual sobre catálisis en el país, se desarrolla fundamentalmente a nivel básico, aunque existen algunos ejemplos de investigaciones que se han llevado hasta la escala de planta piloto. Uno de los factores que determina esta situación, es la escasa investigación que se realiza en la industria. En muchos casos, las empresas con sus políticas inmediatistas no invierten en investigación y desarrollo y prefirieron comprar tecnologías extranjeras que no permiten modificación o innovación alguna, lo que genera de paso una fuerte dependencia tecnológica. En otros casos, las empresas son filiales de multinacionales, que utilizan tecnologías desarrolladas en sus casas matrices. Otro factor importante que debe tenerse en cuenta, es el desconocimiento por parte de la clase dirigente, y de la sociedad en general, de la importancia de la investigación en catálisis en el desarrollo industrial del país según los estándares de sostenibilidad requeridos en el mundo; prueba de ello, es la ausencia de una política clara sobre investigación en catálisis que permita una interacción dinámica entre centros y grupos de investigación-sector productivo, en donde se adquieran compromisos reales que permitan el desarrollo de la industria química nacional. Como consecuencia de lo anterior, muchas investigaciones promisorias se han quedado en el papel.

Un tercer factor que debe considerarse, respecto al cual parece haber un gran desconocimiento en la clase dirigente, en el gremio empresarial nacional y en algunos sectores académicos, es que el desarrollo de una tecnología catalítica requiere de etapas previas de investigación básica que garanticen el éxito del escalamiento hasta la planta comercial. Estas etapas de investigación básica, son muy costosas, ya que se requiere personal altamente capacitado y equipos complejos. No obstante, como se ha probado en los países industrializados, las ganancias derivadas de la explotación comercial de una tecnología

catalítica, justifican toda la inversión hecha previamente.

Como puede observarse en la tabla 2, la gran mayoría de investigadores especialistas en catálisis en el país, se encuentran desarrollando actividades en las principales universidades na-

cionales y en el Instituto Colombiano del Petróleo. Dicha tabla sirve como referencia sobre las áreas específicas en las que se viene investigando en el país. Esta permite no sólo identificar rápidamente las fortalezas de cada universidad, sino que también ilustra la gran variedad de temas abordados por los investigadores.

Tabla 2 Líderes y áreas de investigación de los diferentes centros y grupos colombianos que trabajan en catálisis

<i>Universidad de Antioquia</i>																
<i>Líderes (9)</i>	<i>Áreas de investigación</i>															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Consuelo Montes de Correa, cmontes@catios.udea.edu.co	x	x	x						x		x					x
Aída Luz Villa de P., alvilla@udea.edu.co	x	x	x													x
Fanor Mondragón Pérez, fmondra@catios.udea.edu.co	x			x			x									
Wilson A. Ruiz M., w.a.ruiz@catios.udea.edu.co					x											
Betty Lucy López O., blopez@quimbaya.udea.edu.co								x								
Jaime Olmedo Pérez., jalmedo@matematicas.udea.edu.co																x
Ligia Sierra García, lsierra@catios.udea.edu.co																x
Gloria María Restrepo, gloma@udea.edu.co																x
Gustavo Peñuela, gpenuela@udea.edu.co																x

Universidad Industrial de Santander																
Líderes (7)	Áreas de investigación															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Jairo René Martínez, jrene@tucan.udea.edu.co		x					x									
Elena Stashenko, elena@tucán.uis.edu.co			x				x									
Édgar Páez Mozo, epaez@uis.edu.co		x	x					x								
Sonia A. Giraldo, sgiraldo@uis.edu.co				x				x								
Aristóbulo Centeno, acenteno@uis.edu.co				x				x	x							
Ramiro Martínez R., martínez@uis.edu.co		x	x													
Fernando Martínez O., fmartínez@uis.edu.co		x	x													

Universidad Nacional de Bogotá																
Líderes (6)	Áreas de investigación															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Sonia Moreno, smoreno@ciencias.ciencias.unal.edu.co															x	
Carlos Trujillo, ctrujillo@ciencias.ciencias.unal.edu.co													x	x		
Luis Alfredo Oviedo, loviedo@ciencias.unal.edu.co			x	x				x								
Rafael Molina, rmolina@ciencias.unal.edu.co					x										x	

Universidad Nacional de Bogotá (continuación)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Luis Caraballo S., lcaraballo@ing.unal.edu.co	x								x				x			x
Francisco Sánchez, fsanchez@ciencias.unal.edu.co			x									x				

Universidad Nacional Manizales

Líderes (1)	Áreas de investigación															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Javier Fontalvo A., jfontalv@nevado.manizales.unal.edu.co		x	x													

Universidad del Valle

Líderes (1)	Áreas de investigación															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Alberto Bolaños, albolan@mafalda.univalle.edu.co														x	x	

Universidad del Cauca

Líderes (1)	Áreas de investigación															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Julián Urresta, jurrest@ucauca.edu.co			x											x		

Instituto Colombiano de Petróleo (ICP)																
Líderes (3)	Áreas de investigación															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Luis Javier Hoyos, icpprod@infantas.ecp.com.co									x	x	x					
Luis Almanza, icpprod@infantas.ecp.com.co									x	x	x					
César Vergel, icpprod@infantas.ecp.com.co									x	x	x					

- | | |
|---|--|
| 1. Descontaminación de corrientes gaseosas | 9. Productos químicos a partir de metano y CO ₂ |
| 2. Química fina | 10. FT y gas de síntesis |
| 3. Síntesis y caracterización de materiales | 11. Combustión catalítica |
| 4. Carboquímica | 12. Alquilación |
| 5. Fotocatálisis | 13. Esterificación de ácidos grasos |
| 6. Degradación de polímeros | 14. Hidroisomerización |
| 7. Catálisis computacional | 15. Hidrogenación (homogéneas-heterogénea) |
| 8. Hidrotratamiento (HDS, HID, HDT) | 16. Destilación catalítica |

Según un estudio sobre prospectiva tecnológica en catálisis realizado por Colciencias en 1994 [11], en Colombia existen alrededor de 114 industrias potenciales usuarias de catalizadores en sus procesos de producción. Estas empresas se clasifican dentro de áreas tecnológicas bien definidas: química, polímeros, petróleo, petroquímica, bioconversión, aceites y grasas, carboquímica, papel, electroquímica, agroquímica, pinturas y productos minerales. La gran mayoría de los campos de investigación mostrados en la tabla 2, se relacionan directamente con las necesidades de las industrias locales, mientras que otros, se enmarcan dentro de tendencias mundiales, a las cuales Colombia no puede ser ajena, que buscan disminuir el impacto de los procesos industriales sobre el medio ambiente. En este sentido, todas las áreas tecnológicas estudiadas por los investigadores colombianos, buscan resolver problemas

actuales de capital importancia local y nacional. No obstante, existen otras áreas en las cuales se vislumbran grandes oportunidades y en las que actualmente no se está trabajando. Más adelante se hará referencia a ellas.

Como una manera de ilustrar las regiones donde se concentra la mayor parte de las empresas potenciales usuarias o comercializadoras de catalizadores, se construyó la tabla 3. Las empresas potenciales comercializadoras son intermediarias entre los fabricantes extranjeros y los usuarios finales, pues en el país no se producen catalizadores a escala industrial.

Oportunidades para el futuro

Como se mencionó anteriormente, uno de los mayores retos para la industria catalítica de nues-

tros días, es el desarrollo de materiales que permitan instaurar procesos de producción más limpios, basados en el uso extensivo de materias primas renovables [12]. Otro gran reto, se refiere al desarrollo de catalizadores que permitan eliminar las sustancias tóxicas generadas en los procesos industriales, principalmente aquellas altamente persistentes.

En el ámbito industrial, en el país se han identificado varias necesidades, en cuya solución puede contribuir la catálisis de manera definitiva. Estas se clasifican en diferentes áreas tecnológicas bien diferenciadas, según se muestra en la tabla 4.

En lo ambiental, la problemática asociada con las emisiones de sustancias nocivas al aire y a las fuentes de agua, es cada vez mayor. Esto ha hecho necesario el estudio de catalizadores potenciales para la reducción de contaminantes gaseosos y la eliminación de metales y compuestos orgánicos en aguas residuales. El problema de

los compuestos orgánicos policlorados generados en las plantas de incineración, todavía no se ha generalizado en el país, pero al ser la incineración una alternativa a la disposición en rellenos sanitarios, es probable que esta forma de eliminación de residuos crezca en el país en los próximos años, por lo que se debe trabajar en el desarrollo de catalizadores que permitan eliminar eficientemente estas sustancias, dada su alta peligrosidad.

Es importante anotar que Colombia posee gran cantidad de recursos naturales renovables que podrían aprovecharse en la producción de un sinnúmero de sustancias químicas y farmacéuticas, además de algunos combustibles [12-17]. Por lo tanto, es allí donde se encuentran sus mayores oportunidades para el futuro. Se espera que los centros y grupos de investigación amplíen sus áreas de interés en el desarrollo de materiales que permitan aprovechar esta situación, con el fin de estructurar una industria química nacional

Tabla 3 Distribución de industrias potenciales usuarias y potenciales comercializadoras de catalizadores en el país en 1994 [11]

<i>Ciudad</i>	<i>Número de empresas</i>	
	<i>Potenciales usuarias</i>	<i>Potenciales comercializadoras</i>
Barrancabermeja	1	-
Barranquilla	7	3
Bucaramanga	2	-
Buga	1	1
Cali	14	2
Cartagena	2	-
Itagüí	2	-
Manizales	2	-
Medellín	25	9
Neiva	1	-
Palmira	1	-
Santafé de Bogotá	54	28
Soacha	1	-
Zipaquirá	1	-

Tabla 4. Áreas tecnológicas y procesos de la industria colombiana, susceptibles de ser mejorados implementando nuevos procesos catalíticos [11]

Área tecnológica	Procesos para los cuales se requieren catalizadores más activos y selectivos
Gas natural	<ul style="list-style-type: none"> — Producción de hidrógeno — Reacción de Fisher-Tropsch — Operación eficiente de celdas combustibles — Hidrodesulfuración
Petróleo	<ul style="list-style-type: none"> — Producción de gasolina — Producción de combustible diesel — Producción de gasolina para aviación — Producción de fuel oil — Producción de lubricantes — Transformación de productos residuales
Hidrotratamiento	<ul style="list-style-type: none"> — Hidrodesulfuración (HDS) — Hidrogenación profunda — Producción de aceites lubricantes — Hidrotratamiento (HDT) de productos residuales
Conversión catalítica	<ul style="list-style-type: none"> — Hidrodesulfuración (HDS) de naftas — Producción de aditivos — Trampas para metales
Transformación	<ul style="list-style-type: none"> — Reacciones de isomerización — Eterificación de olefinas pesadas — Alquilación en fase sólida — Reacciones de reformado
Separaciones físicas	<ul style="list-style-type: none"> — Destilación catalítica — Procesos con membranas
Carboquímica	<ul style="list-style-type: none"> — Licuefacción — Gasificación — Producción de soportes y fibras
Química	<ul style="list-style-type: none"> — Producción de ácidos y bases — Productos de química fina — Productos inorgánicos, orgánicos, no petroquímicos y sorbitol
Petroquímica	<ul style="list-style-type: none"> — Producción de monómeros y polimerización — Producción de etileno-metanol — Reacciones de oxidación selectivas — Producción e hidrogenación de aromáticos — Producción de alcoholes

sostenible. Este es un aspecto de gran importancia en la actualidad, teniendo en cuenta que el petróleo, la materia prima sobre la cual se fundamenta gran parte de la industria química mundial, constituye un recurso no renovable.

Debe tenerse en mente además, que para no depender tecnológicamente de los grandes fabricantes de catalizadores, debería potencializarse el diseño e ingeniería de catalizadores, pasando por las etapas de modelaje mediante química computacional, ingeniería básica y conceptual, escalamiento de catalizadores, producción a escala de banco y producción industrial.

Conclusiones

La tecnología catalítica brinda posibilidades para la minimización de desechos, el aumento de la eficiencia en el uso de la energía y la eliminación de contaminantes en medios gaseosos y líquidos. Ya se han comercializado muchas aplicaciones en estas áreas; otras en cambio, se encuentran sólo parcialmente desarrolladas. Aunque la investigación en catálisis en Colombia se enmarca dentro de estas tendencias mundiales, se identifican áreas hacia las cuales se podría orientar parte de la investigación en el ámbito nacional. La meta principal es desarrollar tecnologías catalíticas propias para el aprovechamiento de los recursos naturales del país, con miras hacia la estructuración de una industria nacional sostenible. Esto tendría la virtud de disminuir la dependencia tecnológica nacional, mejorar el nivel de vida y de consumo de productos industriales, además de que al mismo tiempo se evitaría el deterioro del medio ambiente.

Referencias

1. Farrauto R. J., Bartholomew C. H. *Fundamentals of Industrial Catalytic Processes*. London. Chapman & Hall. 1997. cap. 1.
2. Song C. et al. "Catalysis in fuel processing and environmental protection - an introduction". En: *Catalysis Today*. No. 50. New York. 1999. p. 3.
3. Inui T. "Recent advance in catalysis for solving energy and environmentally problems". En: *Catalysis Today*. No. 51. New York. 1999. pp. 361-368.
4. Pajonk G. M. "Some catalytic applications of aerogels for environmental purposes". En: *Catalysis Today*. Vol. 52. New York. 1999. pp. 3-13.
5. Sheldon R. A., Downing R. S. "Heterogeneous catalytic transformations for environmentally friendly production". En: *Applied catalysis A: General*. No. 189. New York. 1999. pp. 163-183.
6. Armor J. N. "Catalytic solutions to reduce pollutants". En: *Catalysis Today*. No. 38. New York. 1997. pp. 163-167.
7. Armor J. N. "Important targets in environmental catalysis". En: *Res. Chem. Intermed.* Vol. 24. No. 2. New York. 1998. pp. 105-113.
8. Armor J. N. "Striving for catalytically green processes in the 21st century". En: *Applied Catalysis A: General*. No. 189. New York. 1999. pp.153-162.
9. Armor J. N. "Energy efficiency and the environment opportunities for catalysis". En: *Applied Catalysis A: General*. No. 194-195. New York. 2000. pp. 3-11.
10. Armor J. N. "Catalysis: Recent value, future opportunities". En: *Chemical Engineering*. No. 9. New York. 1999. pp. 70-74.
11. Colciencias. *Informe de avance: evento prospectiva tecnológica en catálisis*. Bogotá. Colciencias. 1994.
12. Van Bekkum H. "Renewable materials and their increasing role as chemical feedstock". En: *Workshop on Catalytic Technologies for Sustainable Industrial Processes*. Buenos Aires, 28-30 November. 2001.
13. Pérez Pariente J. "Design of new heterogeneous catalysts for the synthesis of biodegradable surfactants from renewable resources". En: *Workshop on Catalytic Technologies for Sustainable Industrial Processes*. Buenos Aires, 28-30 November. 2001.
14. Trifiro F. "Oxidation heterogeneous catalysis for clean processes". En: *Workshop on Catalytic Technologies for Sustainable Industrial Processes*. Buenos Aires, 28-30 November. 2001.

15. Clerici M. G. "Acid and redox zeolites in fine chemicals synthesis. Relationships between catalysis, active sites and surface properties". En: *Workshop on Catalytic Technologies for Sustainable Industrial Processes*. Buenos Aires, 28-30 November. 2001.
16. Gallezot P. "Catalytic technologies for the conversion of renewable resources". En: *Workshop on Catalytic Technologies for Sustainable Industrial Processes*. Buenos Aires, 28-30 November. 2001.
17. Laborde M. A. "Production of hydrogen and oxygenates from bioethanol". En: *Workshop on Catalytic Technologies for Sustainable Industrial Processes*. Buenos Aires, 28-30 November. 2001.