

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Xochimilco
División de Ciencias Sociales y Humanidades
Maestría en Economía y Gestión de la Innovación

Comparación de las capacidades tecnológicas de Brasil, Colombia y México en la producción de catalizadores para refinar petróleo

Tesis para obtener el grado de Maestro en
Economía y Gestión de la Innovación

Presenta:
Lic. Henry Alfonso Mora Holguín

Directores de Tesis:
Dr. Manuel Soria López
Dr. Jaime Aboites Aguilar

Lectores:
Dr. Daniel Villavicencio Carbajal
Dr. Tomás Beltrán Oviedo
Dr. José Manuel Domínguez

México D.F. Octubre 14 de 2010

DEDICATORIA

A mis padres, quienes desde la distancia me brindaron su apoyo y me dieron fuerzas para continuar;

A mis hermanos, quienes estuvieron conmigo en momentos difíciles en los que la distancia quería hacerme rendir: Paola y Miguel;

A mis amigos de la MEGI, quienes fueron incondicionales en momentos tristes y alegres, que además me brindaron su amistad y compañía: Juanny, José, Esly, Mayra, Pamela, Rodrigo, Verónica y Orquídea;

A los Torres Bustillos y Familia, quienes me han permitido ser parte de su familia y me han dado el calor de hogar que extraño de Colombia: Luis, María Elena, Rosa María, Ernesto, René, Marta, Sra. Rosa, Nicolás, Emilia, Santiago y Marcelo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer el apoyo que me brindaron mis asesores de tesis: Manuel Soria y Jaime Aboites, mis lectores: Tomás Beltrán, José Domínguez y Daniel Villavicencio, mis maestros de la MEGI y el Conacyt; porque ellos hicieron posible que terminara esta maestría y que tuviera el gusto de presentarles esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN i
1. CAPACIDADES TECNOLÓGICAS, APRENDIZAJE E INNOVACIÓN 1
1.1 Aprendizaje y Construcción de Capacidades Tecnológicas 1
1.1.2 Mecanismos de Aprendizaje 4
1.1.2 Medición de las capacidades tecnológicas 6
1.2 Aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas en países en desarrollo (PED) 10
1.2.1 La construcción de capacidades tecnológicas en Latinoamérica 15
1.3 Actividad Innovadora y Procesos de Innovación 20
1.4 Marco conceptual 24
2. METODOLOGÍA: AGENTES, INDICADORES Y MODELOS DE ENDOGENIZACIÓN 29
2.1 Diseño de la investigación 29
2.2 Agentes del estudio de caso 33
2.3 Sobre la construcción de las bases de datos 35
2.3.1 Descripción de las bases de datos 38
2.4 Sobre los indicadores utilizados 41
2.5 Modelos de endogenización de la producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores 42
3. LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y DE LOS CATALIZADORES PARA REFINAR PETRÓLEO 46
3.1 Contextualización sobre la industria del petróleo 46
3.1.1 La industria a nivel global 48
3.1.2 El papel de Latinoamérica en la industria 57
3.2 Los catalizadores para refinar petróleo 61
3.2.1 Mercado global de los catalizadores para refinar petróleo 64
3.3 Las empresas petroleras nacionales de interés y sus centros de investigación 67
3.3.1 Petróleo Brasileiro S.A. 67
3.3.2 Empresa Colombiana de Petróleos 70

3.3.3 Petróleos Mexicanos 73
3.4 Principales hallazgos 77
4. CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DE BRASIL, COLOMBIA Y MÉXICO EN LA PRODUCCIÓN DE CATALIZADORES PARA REFINAR PETRÓLEO 79
4.1 Brasil 79
4.1.1 Demanda del catalizador 80
4.1.2 Investigación y Desarrollo 86
4.1.3 Escalamiento, Producción y Venta 99
4.2 Colombia 103
4.2.1 Demanda del catalizador 104
4.2.2 Investigación y Desarrollo 109
4.2.3 Escalamiento, Producción y Venta 119
4.3 México 122
4.3.1 Demanda del catalizador 122
4.3.2 Investigación y Desarrollo 128
4.3.3 Escalamiento, Producción y Venta 142
4.4 Principales hallazgos 148
5. COMPARACIÓN DE LAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DE BRASIL, COLOMBIA Y MÉXICO 152
5.1 Fase I: Demanda del Catalizador 154
5.2 Fase II: Investigación y Desarrollo 156
5.3 Fase III: Escalamiento, Producción y Venta 166
5.4 Modelos de producción de conocimiento tecnológico y catalizadores para refinar petróleo en Brasil, Colombia y México 167
5.4.1 Modelo de Brasil 168
5.4.2 Modelo de Colombia 171
5.4.3 Modelo de México 173
5.5 Principales hallazgos 176
CONCLUSIONES 179
BIBLIOGRAFÍA 184
ANEXOS 192

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1.1 Mecanismos de aprendizaje que están involucrados en la maduración de la empresa creciente 5
Figura 1.2 Acumulación tecnológica: Conceptos y términos básicos 14
Figura 1.3 Niveles de capacidad tecnológica alcanzados en América Latina en la fase del desarrollo 'endo-dirigido' de post-guerra 18
Cuadro 1.1 Modelos de innovación para la producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores pare refinar petróleo 26
Cuadro 2.1 Dos tipos de conocimiento 30
Cuadro 2.2 Formas de conversión del conocimiento 31
Figura 2.1 Modelo A, la fase I se produce de manera endógena 43
Figura 2.2 Modelo B, la fase I y II se producen de manera endógena 44
Figura 2.3 Modelo C, la fase I, II y III se producen de manera endógena 45
Figura 3.1 Producción de petróleo a nivel mundial, por regiones (1980-2009) 49
Figura 3.2 Consumo de petróleo a nivel mundial, por regiones (1980-2009) 52
Figura 3.3 Importaciones vs. Exportaciones de petróleo a nivel mundial, por regiones (promedio 2000-2006) 54
Figura 3.4 Capacidad instalada, por proceso de refinación por regiones para 2005 (Miles de barriles por día) 55
Figura 3.5 Refinación de petróleo a nivel mundial, por regiones y por tipo de proceso (promedio 2001-2009) 56
Figura 3.6 Producción vs. Consumo de petróleo, principales países latinoamericanos de la industria (2008) 59
Figura 3.7 Capacidad de refinación de petróleo por tipo de proceso, principales países latinoamericanos de la industria (2009) 60
Cuadro 3.1 Demanda de catalizadores para refinar petróleo, a nivel mundial y para América Latina en 2001 (porcentaje) 65
Figura 4.1 Brasil, Producción de petróleo vs consumo de petrolíferos (1980-2008) 81
Cuadro 4.1 Brasil, Capacidad instalada y volumen procesado por refinería (2008) 82

Figura 4.2 Brasil, Histórico de capacidad instalada vs. volumen procesado en las refinerías (1999-2008) 83
Figura 4.3 Brasil, Balanza comercial de petróleo (2000-2008), miles de barriles por día... 85
Figura 4.4 Brasil, Balanza comercial de derivados de petróleo (2000-2006), miles de barriles por día 85
Figura 4.5 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Brasil (1975-2009) 92
Figura 4.6 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Brasil, por empresas residentes (1975-2009) 93
Figura 4.7 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Brasil, a residentes y extranjeros (1975-2009) 94
Cuadro 4.2 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Brasil, clasificadas por países (1975-2009) 96
Cuadro 4.3 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Brasil, a empresas residentes (1975-2009) 98
Figura 4.8 Colombia, Producción de petróleo vs consumo de petrolíferos (1980-2008) .. 105
Cuadro 4.4 Colombia, Capacidad instalada y volumen procesado por refinería (2008) ... 106
Figura 4.9 Colombia, Histórico de la capacidad instalada vs. volumen procesado en las refinerías (1999-2008) 107
Figura 4.10 Colombia, Balanza comercial de petróleo (2000-2008), miles de barriles por día 108
Figura 4.11 Colombia, Balanza comercial de derivados de petróleo (2000-2006), miles de barriles por día 108
Figura 4.12 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Colombia (1975-2009) 114
Figura 4.13 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Colombia, a residentes y extranjeros (1975-2009) 116
Cuadro 4.5 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Colombia, clasificadas por países (1975-2009) 117
Figura 4.14 México, Producción vs consumo de petróleo (1980-2008) 123
Cuadro 4.6 México, Capacidad instalada y volumen procesado por refinería (2008) 124

Figura 4.15 México, Histórico de la capacidad instalada vs. volumen procesado por las refinerías (1999-2008)..... 125
Figura 4.17 México, Balanza comercial de derivados de petróleo (2000-2006), miles de barriles por día..... 127
Figura 4.18 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en México (1975-2009) 136
Figura 4.19 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en México, por empresas residentes (1975-2009)..... 137
Figura 4.20 Patentes sobre catalizadores otorgadas en México, a residentes y extranjeros (1975-2009)..... 138
Cuadro 4.7 Patentes sobre catalizadores otorgadas en México, clasificadas por países (1975-2009)..... 141
Cuadro 5.1 Principales indicadores económicos, científicos y tecnológicos de Brasil, Colombia y México..... 152
Cuadro 5.2 Principales indicadores para la fase de Demanda del catalizador 155
Cuadro 5.3 Ingresos, inversiones y gastos en I+D de Petrobras, Ecopetrol, Pemex e IMP, para 2008 (Millones de US$) 157
Cuadro 5.4 Infraestructura y capital humano dedicado a actividades de I+D en catálisis en Petrobras, Ecopetrol e IMP 160
Cuadro 5.5 Patentes sobre catalizadores para refinar petróleo, registradas en las oficinas nacionales de propiedad intelectual (1975-2009)..... 162
Cuadro 5.6 Patentes sobre catalizadores para refinar petróleo, presentadas por Petrobras, Ecopetrol e IMP en las oficinas nacionales de propiedad intelectual (1975-2009)..... 164
Cuadro 5.7 Principales indicadores sobre el escalamiento, producción y venta de catalizadores en Petrobras, Ecopetrol e IMP (2009)..... 166
Figura 5.1 Brasil, modelo 1 de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo..... 169
Figura 5.2 Brasil, modelo 2 de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo..... 170
Figura 5.3 Colombia, modelo de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo..... 172

Figura 5.4 México, modelo 1 de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo 174
Figura 5.5 México, modelo 2 de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo 175

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1.1 Matriz de capacidades tecnológicas a nivel de firma 192
Cuadro 2.1 Relación de las entrevistas realizadas 193
Cuadro 2.2 Descripción de las principales Clasificaciones Internacionales de Patente 194
Figura 3.1 Esquema general del sistema de refinación 195
Cuadro 3.1 Principales procesos de refinación del petróleo 196
Cuadro 3.2 El paradigma de la catálisis y las trayectorias tecnológicas de catalizadores en la industria petrolera 197
Figura 4.1 Ciclo de vida de la patente 198
Cuadro 4.1 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Brasil (1975-2009), por periodo 198
Cuadro 4.2 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Brasil (1975-2009), por solicitante 199
Cuadro 4.3 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Colombia (1975-2009), por periodo 201
Cuadro 4.4 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Colombia (1975-2009), por solicitante 202
Cuadro 4.5 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en México (1975-2009), por periodo 203
Cuadro 4.6 Patentes sobre catalizadores otorgadas en México (1975-2009), por solicitante 204

INTRODUCCIÓN

La importancia del petróleo no se restringe a un concepto meramente económico, sino que impacta en otros ámbitos como el político, el social y el ambiental; de acuerdo con los objetivos de esta investigación se enfatizará en el ámbito económico y ambiental. Desde el campo económico se puede decir que el crecimiento económico ha atravesado diferentes etapas que han estado asociadas con revoluciones tecnológicas (Pérez, 2004)[1]; durante la cuarta revolución tecnológica, hacia finales del siglo XIX y principios del XX, empezó la era del petróleo, el automóvil y la producción en masa; durante esta era el petróleo se convirtió en un elemento fundamental de la economía. La existencia de este recurso en la economía de algunos países ha ocasionado problemas de acaparamiento y poder sobre este recurso, así como de fijación de precios; una solución a estos problemas, por parte de los productores de petróleo, fue la creación de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), un organismo que busca la unificación y coordinación de las políticas petroleras de los países miembros, con la defensa de sus intereses como naciones productoras.

Desde la esfera ambiental cabe señalar que a lo largo del tiempo se han presentado inconvenientes con la calidad de los combustibles utilizados, debido a que las características de estos están directamente relacionadas con la calidad del aire urbano; por esta razón con frecuencia los entes reguladores del medio ambiente utilizan como estrategia para mantener o mejorar la calidad del aire, fijar por ley o resolución las especificaciones de calidad mínima para los combustibles. Las modificaciones al Acta del Aire Limpio (ACL) aprobadas en 1990 por el Congreso estadounidense y los límites máximos de contaminantes permitidos en los combustibles que fueron propuestos por el Consejo de Ministros del Ambiente de la Comunidad Europea (CMA-CE) hacen prever una drástica reducción de las cantidades máximas de estos contaminantes en gasolina, diesel y combustibles en general, en un corto plazo[2].

---

[1] De acuerdo con Pérez (2004) las cinco revoluciones tecnológicas son: La revolución industrial; la era del vapor y los ferrocarriles; la era del acero, la electricidad y la ingeniería pesada; la era del petróleo, el automóvil y la producción en masa; y la era de la informática y las telecomunicaciones.

[2] Tomado de la página web: http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=735, consulta del 4 de agosto del 2009.

Asimismo, los esfuerzos mundiales por reducir la contaminación atmosférica causada por el contenido de azufre en los combustibles para vehículos hacen que aumente la demanda de catalizadores para refinar petróleo, al igual que el cambio de curso hacia crudos más pesados, que tienen niveles más altos de azufre, entre otros contaminantes (Secretaria de Energía de México –SENER-, 2007). La demanda de catalizadores en la industria de la refinación de petróleo a nivel mundial también será muy fuerte debido al crecimiento de la producción de productos refinados en el África, Medio Oriente & Asia y el Pacífico (SENER, 2007).

Ante la relevancia del petróleo en las esferas económica y ambiental es importante conocer el papel que desempeñan en esta industria algunos Países En Desarrollo (PED), particularmente los de Latinoamérica. Para el análisis se seleccionaron tres países latinoamericanos: Brasil, Colombia y México, que aunque tienen un crecimiento económico relativamente bajo (CEPAL, 2008), tienen un gran papel dentro de la industria del petróleo por sus capacidades de producción de crudo, de derivados y de refinación (EIA, 2010), así como por su evolución en la industria de los catalizadores para refinar petróleo.

El análisis se realizó para estos países con el objetivo de *conocer y comparar las capacidades tecnológicas que tienen para la producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo, así como la forma en que suplen su demanda de catalizadores*. En esta investigación el proceso de producción de catalizadores, siguiendo a Aboites et al (2004), es estudiado a partir de las siguientes fases: a) Demanda del catalizador, conformada por las actividades de análisis de la disponibilidad del nuevo catalizador en el mercado y requisición del nuevo catalizador; b) Investigación y Desarrollo (I+D), que incluye las actividades de investigación básica a nivel de laboratorio, caracterización y definición de la formulación; y c) Escalamiento, Producción y Venta, que se compone de las actividades de prueba en planta piloto, prueba industrial, realización de las mejoras incrementales necesarias, y finalmente, producción y en algunos casos venta del nuevo catalizador.

Para cada uno de los países analizados se plantearon los siguientes objetivos específicos: *i)* Identificar el grado de endogenización de la producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores, a fin de conocer las capacidades tecnológicas que han

desarrollado en la industria y la evolución que han tenido; *ii)* Analizar la producción de nuevo conocimiento en este campo; a partir del análisis de las patentes que se han otorgado en la oficina nacional de propiedad intelectual, así como las otorgadas para cada país en la United States Patent and Trademark Office (USPTO) y *iii)* Identificar la infraestructura, los investigadores y recursos económicos que tiene disponibles para actividades de I+D en el área de catálisis.

La pregunta con la cual se direcciona esta investigación es: ¿Cuál es el grado de endogenización de la producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo en Brasil, México y Colombia? Adicionalmente para cada uno de los países bajo estudio se plantean las siguientes preguntas secundarias: ¿Cuáles son los agentes que participan en este proceso de producción? y ¿Cuál es la incidencia de cada uno de ellos dentro del proceso y qué tipo de relación tienen con el país analizado?

La hipótesis de la que se parte es que los países analizados han incrementado el grado de endogenización de su producción de catalizadores; aunque, comparativamente, cada país se encuentra en un punto diferente de desarrollo de capacidades tecnológicas. Se cree que la construcción de capacidades tecnológicas, en los tres países, ha sido lenta y aun no cuentan con las capacidades suficientes para desarrollar todo el proceso de manera endógena; solamente las fases de *Demanda del catalizador* e *Investigación y Desarrollo* se desarrollan de manera endógena; la fase de *Escalamiento, Producción y Venta* es realizada de manera exógena, por las grandes compañías multinacionales. La presencia de agentes externos lleva a pensar que en el proceso de producción, para los tres países, se identifican al menos tres agentes: el que demanda el catalizador, el que realiza el proceso de investigación básica y aplicada, y el que produce el catalizador (escalamiento industrial).

La hipótesis sugiere que: *i*) Brasil es el país, de los tres analizados, que ha desarrollado más capacidades tecnológicas y que ha avanzado hacia un modelo más endógeno; *ii*) México ha desarrollado más capacidades que Colombia pero debido a la independencia entre el Instituto Mexicano del Petróleo y Petróleos Mexicanos se han desaprovechado estas capacidades y se ha dado un retroceso; y *iii*) Colombia ha hecho grandes esfuerzos por aprender y construir capacidades, mismas que le han permitido mejorar su competitividad en la industria realizando mejoras incrementales a los catalizadores disponibles en el mercado.

Esta investigación se justifica por la importancia de conocer los procesos de aprendizaje y de construcción de capacidades tecnológicas que han empleado los PED analizados para producir catalizadores y poder tratar crudos más pesados. La relevancia de del petróleo en estos países se basa en la seguridad energética que implican y su aportación a la economía nacional, además de ser un importante motor del desarrollo económico para estos países.

En las siguientes tesis de investigación de la maestría en Economía y Gestión de la Innovación se ha trabajado sobre el área de catalizadores para refinación de petróleo, particularmente el caso del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP): *"Trayectoria tecnológica de catalizadores en el I.M.P. Un análisis de patentes"*[3], a través del análisis de patentes se estudió la historia tecnológica del IMP, con el fin de probar la hipótesis de la imitación tecnológica de catalizadores; *"Estructuración de una comunidad científica: El caso de la catálisis"*[4],el propósito de esta investigación fue analizar el tipo de vinculación existente entre la unidad Iztapalapa, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), y el IMP; *"Influencia del impacto ambiental en la trayectoria tecnológica del área de catálisis del IMP"*[5], el objetivo de esta investigación fue analizar el impacto ambiental de los combustibles obtenidos de la refinación del petróleo dentro de la trayectoria tecnológica recorrida por el IMP en el área de catálisis; *"Principales mecanismos para compartir el conocimiento. El caso de 4 grupos de trabajo del Instituto Mexicano del Petróleo"*[6], ésta investigación analiza la efectividad para compartir conocimiento en cuatro equipos de trabajo del IMP; *"Estrategia de propiedad intelectual del área de catálisis del IMP"*[7], en esta investigación se analizaron las estrategias de patentes de catalizadores que realiza el IMP; y *"Gestión en los procesos de innovación en catalizadores de hidrotratamiento del Instituto Mexicano del Petróleo"*[8], el propósito de esta investigación fue analizar la gestión institucional y organizacional de la innovación tecnológica de catalizadores dentro del área de catálisis del IMP.

En las investigaciones acabadas de mencionar no se ha abordado el estudio de la construcción-acumulación de capacidades tecnológicas en el área de catálisis; ni se ha

[3] Véase Cruz, B., 1997.
[4] Véase Gil, J., 1999.
[5] Véase De Fuentes, C., 2000.
[6] Véase Craita, M., 2002.
[7] Véase Zarza, E., 2003.
[8] Véase Figueroa, B., 2003.

hecho una comparación de la producción de catalizadores en los principales países petroleros latinoamericanos. Aboites et al (2004) analizaron algunos aspectos de las capacidades tecnológicas de México, en la producción de catalizadores para refinar petróleo; esta investigación se pretende extender este análisis a Brasil y Colombia, para que junto con México permitan identificar las capacidades tecnológicas que se han desarrollado a nivel latinoamericano, en esta industria.

Esta investigación está conformada por cinco capítulos. En el primer capítulo se presenta el marco teórico que da soporte a la investigación; incluye la teoría sobre construcción de capacidades tecnológicas, las actividades innovadoras y los procesos de innovación; más adelante estos argumentos teóricos son comparados con la evidencia empírica para construir las conclusiones. En el segundo capítulo se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación; se mencionan los agentes que serán analizados y los instrumentos utilizados para la consecución y análisis de la información; así como la metodología empleada para la construcción de las bases de datos y de los indicadores utilizados para la identificación de las capacidades tecnológicas. En el tercer capítulo se presenta una descripción de la industria del petróleo, no solo a nivel mundial sino también a nivel latinoamericano; en este capítulo también se habla de la industria de los catalizadores para refinar petróleo, se describen los principales tipos de catalizadores que existen y los principales productores de los mismos a nivel mundial; en la última parte de este capítulo se da una breve descripción de las empresas petroleras de Brasil, Colombia y México, y de sus centros de investigación. En el capítulo cuatro se exponen las capacidades tecnológicas que tiene cada uno de estos países de acuerdo con los indicadores definidos para cada etapa del proceso de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores. En el quinto capítulo se comparan las capacidades tecnológicas que tienen Brasil, Colombia y México en la producción de catalizadores para refinar petróleo; en este capítulo se muestran las semejanzas y diferencias en sus capacidades; en la última parte de este capítulo se presentan las formas en que las compañías petroleras suplen su demanda de catalizadores, se evalúa el grado de endogenización del proceso. Finalmente, en la última parte de la investigación se presentan las principales conclusiones, tratando de responder a las preguntas planteadas.

1. CAPACIDADES TECNOLÓGICAS, APRENDIZAJE E INNOVACIÓN

El objetivo de este capítulo es presentar el marco teórico que sustenta a la investigación, se trata de exponer los argumentos teóricos con los cuales se compara la evidencia empírica, y se construyen las conclusiones. Este capítulo se encuentra dividido en cuatro partes; en la primera parte se presentan los procesos de aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas, se señalan las diferencias que existen entre países en desarrollo (PED) y países desarrollados (PD), además se explican los mecanismos que pueden ser empleados para aprender y transmitir el conocimiento, así como las formas en que se pueden construir y medir las capacidades tecnológicas de un país o una firma. En la segunda parte de este capítulo se exponen algunos estudios en los que se han evaluado los procesos se aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas en América latina, se hace particular énfasis en los trabajos realizados por Katz, quién ha abordado el término de endogenización de las capacidades tecnológicas. En la tercera parte se presentan los conceptos de actividad innovadora y procesos de innovación, se trata de explicar las diferencias entre invenciones e innovación, así como el proceso que atraviesa un bien o servicio que llega a ser innovador. Finalmente, en el cuarto apartado se presenta el marco conceptual, en este apartado se exponen los conceptos tal y como se manejarán en el resto de la investigación, así como los modelos de endogenización que se tendrán en cuenta para la evaluación de la evidencia empírica.

1.1 Aprendizaje y Construcción de Capacidades Tecnológicas

La expresión aprendizaje ha sido utilizada principalmente para referirse a dos tipos de procesos de construcción de capacidades tecnológicas; por un lado y de manera limitada, se ha utilizado para referirse a la adquisición de conocimientos y habilidades únicamente a través de la práctica (Bell, 1984), que por ende depende de la experiencia "*learning by doing"*; este tipo de aprendizaje es un proceso de retroalimentación que se basa principalmente en la búsqueda de la mejora y el cambio; el otro enfoque es más amplio y aborda al aprendizaje desde cualquier forma de adquisición del conocimiento, no solo a

través de la experiencia; desde este enfoque el aprendizaje es entendido como la forma en que una empresa aumenta su capacidad de gestión de la tecnología. Cuando se habla de aprendizaje queda claro que se refiere a algún tipo de habilidad y a algún proceso de acumulación de conocimientos, que permiten que se pueda observar el aprendizaje adquirido y empleado (Bell, 1984).

El aprendizaje está vinculado con diferentes fuentes de conocimiento, que puede ser externo o interno a la empresa; el aprendizaje interno es generado directamente de las actividades desarrolladas por la organización, como producción, investigación y desarrollo (I+D), marketing, entre otros; las fuentes externas de conocimiento provienen del conocimiento obtenido de otras empresas pertenecientes a la misma industria, de los proveedores, los usuarios o de nuevos avances de la ciencia y la tecnología (Malerba, 1992). En los procesos de aprendizaje, de acuerdo con el análisis económico basado en la práctica, se pueden identificar tres propiedades: *i)* Se debe ejercer poca o ninguna acción para aumentar el conocimiento, las habilidades y los beneficios que se derivan de su adquisición, *ii)* El proceso es prácticamente automático, y *iii)* El aprendizaje se adquiere de forma gratuita simplemente con la producción (Bell, 1984).

Figueiredo (2002), entiende el aprendizaje como un proceso que permite a la empresa acumular capacidad tecnológica; y la capacidad tecnológica como los recursos necesarios para generar y gestionar mejoras en los procesos y la organización de producción, productos, equipos y proyectos de ingeniería. Para Dodgson (1993), el aprendizaje también describe las formas en que las firmas construyen, complementan y organizan conocimientos y rutinas alrededor de sus actividades.

De acuerdo con Torres (2006), el proceso de construcción de capacidades tecnológicas es en esencia el resultado de un proceso de aprendizaje y acumulación de conocimiento tecnológico. Las capacidades tecnológicas están compuestas por diferentes elementos que pueden ser resumidos en tres clases, y que son contrastantes entre ellas: *i)* Incorporado/Sin incorporar, es decir que puede estar incorporada en equipos, infraestructura, bienes de capital, etc. pero puede estar también en las capacidades humanas y científicas, *ii)* Codificado/Tácito, el conocimiento puede estar codificado en documentos, patentes, manuales, planos, etc.; o también puede estar de manera tácita, y *iii)* Generación/Difusión, la producción de conocimiento así como su difusión e imitación son

una importante fuente tecnológica; las capacidades tecnológicas deben ser medidas no solo a partir de los indicadores de la generación de invenciones o innovaciones, sino también por los indicadores de su aplicación y difusión (Archibugi y Coco, 2005).

Cohen y Levinthal (1989) sugieren que la I+D no es solamente generar nueva información, sino también mejorar la habilidad de la empresa para asimilar y explotar la información existente. Ellos consideran que la inversión en I+D tiene una implicación dual; por un lado genera innovaciones, pero también desarrolla la habilidad de las empresas para identificar, asimilar y explotar conocimiento del entorno, que es lo que ellos llaman "aprendizaje de la empresa" o "capacidad de absorción"; la habilidad de la empresa está en imitar nuevos procesos o realizar innovaciones de proceso, la capacidad de absorción también incluye la habilidad de la empresa para explotar el conocimiento externo y para crear nuevo conocimiento a partir de este.

Aunque es difícil clasificar las fuentes del cambio técnico y la construcción de capacidades tecnológicas de las firmas, Bell y Pavitt (1995) identificaron cinco categorías, donde clasifican las firmas de acuerdo a sus posibilidades de cambio técnico: *i)* Empresas dominadas por el proveedor, donde el cambio técnico proviene casi exclusivamente de los proveedores de máquinas y otros insumos de producción, este es el caso generalmente de la industria textil y agrícola; la acumulación tecnológica se concentra en mejorar y modificar los métodos de producción y los insumos asociados; el aprendizaje tecnológico en este tipo de empresas surge de las operaciones de producción, *ii)* Empresas intensivas en escala, la acumulación se genera por el diseño, la operación y creación de complejos sistemas de producción y productos; las principales fuentes de las mejoras tecnológicas son: el diseño, la ingeniería de producción, la experiencia operativa y los proveedores de equipos y componentes; el aprendizaje tecnológico proviene de las mejoras de proceso y producto, *iii)* Empresas intensivas en información, su acumulación tecnológica proviene de su capacidad de almacenar, procesar y transferir información; la acumulación tecnológica comprende el diseño, construcción, operación y mejora de los complejos sistemas de almacenamiento y procesamiento de la información, *iv)* Empresas basadas en la ciencia, la acumulación tecnológica, así como el proceso de aprendizaje, se da principalmente por las actividades de I+D de los laboratorios y dependen en gran medida de los conocimientos, técnicas y habilidades emergentes de la investigación académica; la acumulación tecnológica se centra

principalmente en la búsqueda de nuevos mercados de productos tecnológicamente similares, y *v)* Empresas de proveedores especializados, la acumulación tecnológica se lleva a cabo a partir del diseño, construcción y uso de los insumos de producción; las empresas acumulan los conocimientos necesarios para poder poner en marcha los avances en las maquinarías, componentes, instrumentos y software.

1.1.2 Mecanismos de Aprendizaje

Las actividades que comprenden el proceso de aprendizaje pueden estar relacionadas con fortalezas internas, tales como: el conocimiento y capacidades del personal de la organización, los canales internos de comunicación, los estímulos y reconocimientos a la actividad innovativa; o con fortaleza externas, que se deprenden de las relaciones de la organización con instituciones que se encuentran en su entorno, como empresas extranjeras o nacionales, clientes, proveedores, centros de investigación, universidades, entre otros; la articulación entre fortalezas internas y externas conlleva al desarrollo de estrategias tecnológicas que se traducen en factores de competitividad (Villavicencio et al.,1995).

En la figura 1.1 se exponen los diferentes mecanismos de aprendizaje que, de acuerdo con Bell (1984), están presentes en el proceso de maduración de una empresa naciente, y a partir de los cuales los individuos construyen las capacidades tecnológicas. Los dos primeros tipos de aprendizaje están basados en el hacer, es decir que día con día se mejoran a través de la experiencia, la práctica y la retroalimentación; los otros cuatro mecanismos de aprendizaje no dependen necesariamente de la experiencia, sino que hacen uso de herramientas externas a la organización, tales como el entrenamiento, la búsqueda y la contratación; adicionalmente está el aprendizaje a través de la retroalimentación.

El aprendizaje a través del hacer y del cambio surge de la práctica diaria, se forma a través de la experiencia y la retroalimentación; este es un proceso un tanto pasivo y automático, ya que se produce de manera involuntaria con el paso del tiempo y el aumento de la producción acumulada. El aprendizaje a través del entrenamiento es un mecanismo formal que no surge de la interacción entre los agentes al interior de la organización, ni de la ejecución de sus tareas; este mecanismo, podría decirse, viene del entorno de la

organización, ya que las capacitaciones generalmente son impartidas por personal ajeno a la organización, que tiene formación específica en el campo de interés. (Bell, 1984).

Figura 1.1 Mecanismos de aprendizaje que están involucrados en la maduración de la empresa creciente



Fuente: Traducción propia a partir de Bell (1984).

El aprendizaje a partir de la búsqueda puede darse a partir de la combinación de otros mecanismos, consiste en buscar fuentes de conocimiento y darlas a conocer a la organización; busca transmitir nueva información que puede estar adentro o afuera de la organización (Bell, 1984). Este mecanismo puede hacer uso de herramientas como el *benchmarking*; siempre buscando opciones para incrementar la productividad de la empresa y acumular capacidades tecnológicas.

De acuerdo con Bell y Pavitt (1995), también se pueden dar procesos de aprendizaje dentro de los sectores a partir de: *i)* La desintegración vertical de las industrias, *ii)* La transferencia de conocimientos acumulados y experiencia para mejorar la competitividad de

otros tipos de empresas, y *iii)* La migración de las personas cualificadas de una empresa a otra. Figueiredo (2002), diferencia cuatro mecanismos a través de los cuales se puede aprender: adquisición de conocimiento externo, adquisición de conocimiento interno, socialización del conocimiento y codificación del conocimiento[9]. No obstante, además de las características clave de los procesos básicos de aprendizaje hay otros factores, tales como un efectivo liderazgo empresarial y un entorno de mercado competitivo, que también son necesarios para acelerar el ritmo de acumulación de capacidad tecnológica y mejorar el rendimiento operativo (Figueiredo, 2001).

Cohen y Levinthal (1989), distinguen tres fuentes de conocimiento tecnológico de una empresa: las actividades de I+D de la propia empresa, el conocimiento originado de las actividades de I+D de la competencia, y el conocimiento generado fuera de la industria. De otro lado, Malerba (1992), genera una taxonomía para los procesos de aprendizaje, distingue seis tipos diferentes: *i)* Aprendizaje por el hacer, este es un proceso interno a la firma y se relaciona principalmente con el área de producción, *ii)* Aprendizaje por el uso, también interno a la firma, y se deriva del uso de maquinarias, insumos y productos, *iii)* Aprendizaje a partir de los avances en ciencia y tecnología, es una fuente externa a la firma y depende de la capacidad de la empresa para absorber el nuevo conocimiento, *iv)* Aprendizaje a partir de los derramas de conocimiento interindustria, es una fuente externa relacionada con las actividades que realizan la competencia, *v)* Aprendizaje a través de la interacción, es una fuente de conocimiento externa a la firma, involucra a todos los agentes que inciden en el proceso, desde proveedores hasta clientes, y *vi)* Aprendizaje a partir de la búsqueda, esta es una fuente interna de conocimiento, enriquecida principalmente por las actividades de I+D.

1.1.2 Medición de las capacidades tecnológicas

Los niveles de las capacidades tecnológicas en las empresas aportan elementos para comprender los orígenes de las diferencias que se presentan entre empresas de PD y PED; tales diferencias desempeñan un papel central en la teoría del proceso evolutivo, que

[9] Para más información véase Figueiredo, P.N., 2002, "Learning Processes features and technological capability accumulation: explaining inter-firm differences", in Technovation 22, pp.685-698.

destaca la trascendencia del aprendizaje en la generación de cambio técnico (Nelson y Winter, 1982). Según dicha teoría, los individuos, las empresas y las economías nacionales crearán riqueza y lograrán tener acceso a la riqueza de acuerdo con su capacidad de aprendizaje (Lundvall, 1992).

Los indicadores de las capacidades tecnológicas de las empresas contribuyen a establecer los factores que subyacen las diferencias entre empresas y los efectos que ellos tienen en el desempeño de las mismas. Se han realizado varios estudios para cuantificar las capacidades tecnológicas de las empresas, buena parte de esos estudios utilizan las aportaciones de Bell y Pavitt (1992) y, en especial, la taxonomía de Lall (1992), quien sugiere formas de clasificar las capacidades tecnológicas desarrolladas por la empresa con el fin de asimilar, adaptar y mejorar la tecnología adquirida. Aunque las trayectorias de aprendizaje y progreso tecnológico no están predeterminados, Bell y Pavitt (1995) identificaron tres mecanismos que influyen en las estrategias de acumulación tecnológica y de desarrollo industrial: *i)* La dotación de factores, *ii)* Las orientaciones de las inversiones persistentes, especialmente aquellas con fuertes vínculos intersectoriales, y *iii)* El dominio acumulativo de las tecnologías centrales y de las bases de conocimiento subyacentes[10].

Se puede afirmar que las investigaciones que buscan identificar las fuentes de aprendizaje y las actividades tecnológicas de las empresas se basan principalmente en dos fuentes de conocimiento, una cualitativa, las encuestas, y otra cuantitativa, las estadísticas oficiales. En el grupo de los análisis realizados a partir de entrevista se destacan los trabajos de: Westphal, Kritayakirana et al (1990), realizado con una muestra de 100 empresas tailandesas; Lall et al (1994), con el caso de cuatro industrias en Ghana; Romijn (1999), centrado en la industria pakistaní de bienes de capital; Wignaraja (2001), con una muestra de empresas textiles y del vestido en las islas Mauricio, y Tremblay (1998), basado en una muestra de la industria papelera canadiense. En este mismo grupo se encuentra el análisis de Figueiredo (2002), quien elaboró un marco ilustrativo para medir la capacidad tecnológica de una compañía de acero.

En el grupo de las investigaciones realizadas a partir de estadísticas oficiales se encuentran los trabajos de: Yan Aw y Batra (1998) sobre la industria taiwanesa, quienes

[10] Para más información véase: Bell y Pavitt (1995).

utilizaron características específicas de las empresas, como las actividades de investigación y desarrollo y la capacitación en la planta, para cuantificar sus esfuerzos por asimilar la tecnología adquirida. Consideran que también son fuentes de conocimiento otras variables, como la presencia de inversión extranjera directa, el uso de patentes extranjeras y el contacto con clientes internacionales por medio de las exportaciones. Dutrénit y Capdevielle (1993), examinaron la evolución de la manufactura, utilizando la clasificación de trayectorias tecnológicas de Pavitt (1984), que incluye una evaluación de las capacidades tecnológicas de las empresas. Para ello utilizaron tres variables: las remuneraciones medias (como aproximación a la tecnología de habilidades), la inversión en maquinaria y equipo (como aproximación a la tecnología dura) y la investigación y desarrollo (como aproximación a la tecnología blanda).

Otro análisis estadístico fue el realizado por Lall (1993), quien elaboró una investigación para ocho países con el fin de medir la capacidad tecnológica nacional; él trabajó los indicadores en tres grandes sectores: Estructura y desarrollo[11], educación[12] y ciencia y tecnología (CyT)[13]; los países que analizó fueron: Corea del sur, Taiwán, Hong Kong, Singapur, India, Brasil, México y Tailandia[14].

Más adelante, en el año 2004, Brown y Domínguez buscaron elaborar indicadores que permitieran medir las capacidades tecnológicas en la industria mexicana, e identificar grupos de empresas por niveles de capacidades tecnológicas, con la intención de analizar hasta qué punto los niveles de cada grupo se relacionan con diferencias significativas en el desempeño. Realizaron un análisis factorial a partir del cual identificaron cuatro factores que expresaban las principales fuentes de aprendizaje en la empresa manufacturera: *i)* Política de formación de personal, *ii)* Innovación de mejora continua, *iii)* Sistemas de

[11] Las variables a partir de las cuales estudió este sector fueron: Valor agregado, crecimiento y exportaciones de manufacturas, inversión interna bruta, producción e importación de bienes de capital, stock de la inversión extranjera directa.

[12] Este sector fue estudiado a partir de las siguientes variables: Gasto en educación como % del consumo de los hogares y como % del gasto público, gasto total del gobierno en educación, % de estudiantes matriculados por edad y por nivel de educación, matriculados en educación profesional como % de la población en edad de trabajar, número de estudiantes en ingenierías y ciencias básicas como % de la población por año.

[13] En el campo de CyT los indicadores fueron: patentes locales como % del número total de patentes concedidas, % de gasto en I+D total, del sector productivo y financiado por el sector privado como % del PNB, ingenieros y científicos dedicados a actividades de I+D por millón de habitantes y número total de ingenieros y científicos por millón de habitantes.

[14] Véase Lall (1993), para conocer los resultados de los indicadores analizados para cada país.

información y documentación, y *iv)* Inversión en nuevas tecnologías. La principal conclusión a la que llegaron es que hay una asociación positiva entre capacidades tecnológicas y desempeño en tres de los cinco índices: el margen de ganancia, la productividad laboral y el cambio técnico. Brown y Domínguez (2004) tuvieron en cuenta las siguientes variables: Compra de paquetes tecnológicos o transferencia de tecnología desde la empresa matriz, inversiones en tecnología administrativa, inversiones en ingeniería básica, inversiones en patentes, política de reclutamiento de personal, investigación y desarrollo, mejoras de la organización, avance en la certificación de la calidad, existencia de mantenimiento preventivo y predictivo, presencia de documentación de prácticas y normas, introducción de nuevas tecnologías, asesoría técnica, e intensidad de la capacitación de personal.

Existen algunos índices para medir las capacidades tecnológicas a nivel nacional; entre los principales se encuentran: El *Índice de tecnología del Foro Económico Mundial* (FEM), este índice incluye tres principales categorías de la tecnología: a) Capacidad de innovación, medida por una combinación de las patentes otorgadas en USPTO, la tasa de escolarización terciaria, b) Difusión de las TIC, medido por el acceso a la Internet, teléfono, ordenadores, y c) La transferencia de tecnología, medida por las exportaciones no primarias. El *Índice de adelanto tecnológico, del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas* (UNDP, por sus siglas en inglés), los autores consideran cuatro dimensiones de los logros tecnológicos, cada uno de los que se basa en dos indicadores: a) La creación de la tecnología, basado en la patentes registradas por los residentes en sus oficinas nacionales y los ingresos de regalías y derechos de licencia, b) La difusión de de nuevas tecnologías, basadas en servidores de la Internet y exportaciones de alta y media tecnología, c) Difusión de las más antiguas tecnologías, basadas en líneas telefónicas y el consumo de electricidad, y d) Las capacidades humanas, basada en los años de escolaridad y de matrícula de ciencias terciaria.

El *Índice de Capacidades Tecnológicas Arco* (Archibugi y Coco, 2004), que tiene en cuenta tres dimensiones de la tecnología: a) Actividades innovadoras, basada en las patentes registradas en USPTO, b) La infraestructura tecnológica, basada en la Internet, líneas telefónicas fijas y móviles, y el consumo de electricidad, c) Capital humano, basado en el número de matriculados en educación terciaria, años de escolaridad y de

alfabetización. Y el *Cuadro de Indicadores de Desarrollo Industrial de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial* (ONUDI), este índice considera cuatro categorías: a) El esfuerzo tecnológico, basado en las patentes registradas en USPTO, b) El rendimiento industrial competitivo, basado en el valor agregado en las manufacturas, las exportaciones de manufacturas, la participación de las exportaciones de mediana y alta tecnología en el total de las exportaciones, c) Las importaciones de tecnología, los pagos de derechos de autor extranjeros y los bienes de capital, y d) Las capacidades y la infraestructura, basado en las matriculas técnicas terciarias y líneas telefónicas[15].

1.2 Aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas en países en desarrollo (PED)

Hasta principios de los años 70 los estudios sobre desarrollo tecnológico en los PED habían puesto poca atención a la generación interna de conocimiento técnico, ya que se pensaba que la tecnología era un factor más, que estaba disponible en el mercado, y que por tanto los PED solo tenían que seleccionar la que más se ajustara a sus necesidades (Torres, 2006). A principios de los 80's se profundiza en la necesidad de construir capacidades tecnológicas y de encontrar o identificar los procesos que permiten la acumulación de conocimiento para su construcción; entre los primeros autores que estudiaron este campo se encuentran Westphal, Kim y Dahlman (1985), quienes definieron las capacidades tecnológicas como "…la habilidad para hacer un uso efectivo del conocimiento tecnológico"; ellos aclaran que la importancia del conocimiento tecnológico radica en el uso que se le da en la producción, la inversión y la innovación; ellos dicen que para construir capacidades tecnológicas no es suficiente con tener el conocimiento.

De acuerdo con Torres (2006), la literatura existente sobre aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas en países en desarrollo (PED) se ha focalizado en los procesos de aprendizaje que subyacen la construcción y acumulación gradual de capacidades tecnológicas a partir de la tecnología que adquieren de firmas en otros países. A partir de estos estudios se ha dicho que las firmas en los PED son *borrowers* o *learners*,

[15] Véase Archibugi y Coco (2005), donde los autores realizan una sinopsis de los cinco principales índices que han tratado de medir las capacidades tecnológicas.

es decir que toman la tecnología que han desarrollado y mejorado los países desarrollados (PD), para aprender a partir de ella (Amsden, 1989).

Como lo señalan Rosenberg (1979), Lundvall (1988) y Villavicencio (1990), el aprendizaje tecnológico constituye un proceso social dinámico y acumulativo de generación y difusión de conocimiento tecnológico en las empresas. Este proceso está relacionado con las actividades internas de la empresa, que dependen de: *i)* Los conocimientos y experiencias que tienen y mejoran los individuos de la empresa, para generar nuevo conocimiento, *ii)* La difusión e intercambio del conocimiento, no solo entre agentes internos de la empresas, sino también con agentes externos, *iii)* La perpetuación de procesos que permitan la construcción de una memoria tecnológica para la empresa, *iv)* La estructura organizativa, que permita el acceso y difusión del conocimiento, *v)* La complejidad de la tecnología utilizada en el proceso productivo, y *vi)* El sector industrial en el que se encuentra la empresa, de acuerdo al contenido tecnológico de sus productos.

Como Dosi (1988) lo plantea, las teorías evolutivas pueden explicar mejor la existencia permanente de asimetrías entre las empresas, en términos de tecnologías de proceso y la calidad de la producción; para los países menos desarrollados el enfoque evolutivo es mucho más plausible que el enfoque de la función de producción; las economías de escala y las diferencias en bienes de capital explican parte de esta asimetría, solo explican las diferencias en capacidades innovadoras, es decir, diferencias en el grado de acumulación de tecnología y diferencias en la eficiencia de los procesos de búsqueda innovativos. Señala Lall (1993) que una vez que el cambio tecnológico, a nivel de firma, se entiende como un proceso continuo de absorción o creación de conocimientos técnicos, determinado en parte por insumos externos y en parte por la acumulación de los últimos conocimientos y habilidades, es innegable que la innovación se puede definir de manera mucho más amplia para cubrir todos los tipos de búsqueda y esfuerzos de mejora.

La literatura que ha abordado la construcción de capacidades tecnológicas, a nivel de firma, en los PED ha identificado tres factores importantes para su construcción: *i)* El desarrollo de nuevas habilidades y la información necesaria para obtener una nueva tecnología de producción, *ii)* Los factores externos que influyen en el proceso, como la competencia, *iii)* El cambio tecnológico, que estimula el desarrollo de las empresas y estimula la inversión (Dahlman and Westphal, 1982; Fransman, 1986; Herbert-Copley,

1990; Rath, 1990; Teitel, 1984; Vernon, 1989; Westphal, 1982). Existen diversas formas de clasificar las capacidades tecnológicas a nivel de la firma; de acuerdo con Katz (1984, 1987), Dahlman, Ross-Larson y Westphal (1987) y Lall (1987) se pueden presentar a través de una matriz en la cual se clasifican las capacidades tecnológicas dependiendo de si están relacionadas con las funciones de producción o no, así como del grado de complejidad que involucran. Cabe señalar que en el proceso de aprendizaje las empresas no pasan por todos los niveles, y tampoco todas las empresas pasan por las mismas etapas aunque pertenezcan a la misma industria (véase Anexo figura 1.1).

A nivel de país las capacidades tecnológicas se pueden agrupar en tres campos: *i)* Inversión física, instalaciones y equipos necesarios, *ii)* Capital humano, conocimiento formal, habilidades adquiridas por la experiencia, y *iii)* Esfuerzo tecnológico, gasto en I+D, patentes, innovaciones; los tres rubros están estrechamente interrelacionados de tal forma que es difícil medir su contribución individual (Nelson, 1981), pero se debe tener en cuenta que no siempre van de la mano. Por ejemplo, si se acumula capital humano, sin los conocimientos, o la tecnología, necesarios para su utilización de manera eficiente entonces no se desarrollarán adecuadamente las capacidades tecnológicas nacionales, o si se crean las competencias formales, pero sin combinar con el esfuerzo tecnológico, no va a aumentar la eficiencia dinámica (Romer, 1990).

Una empresa se considera tecnológicamente madura, según Lall (1993), cuando esta tiene la capacidad para identificar las actividades en que debe especializarse y además complementa las capacidades adquiridas. Antes de alcanzar esta madurez plena, las empresas pueden variar en el dominio de las diversas funciones involucradas; además, una empresa en un PED, con deficiencias en las habilidades y con experiencia limitada en la fabricación, utilizará la misma tecnología que su contraparte en los PD, pero de una manera menos eficiente. Las habilidades que una empresa tiene no sólo determinan lo bien que se explotan y mejoran las tecnologías adquiridas, sino que también permiten absorber las tecnologías compradas o imitadas de otras empresas (Lall, 1993).

El talento de las empresas para crear nuevas capacidades depende de: el tamaño de la empresa; el acceso a la información del mercado, de la organización y de gestión en la empresa y su capacidad para cambiar las estructuras de absorción de nuevos métodos y tecnologías (Hoffman, 1989; Katz, 1987); el acceso a la información técnica y el apoyo

externo; y el acceso a una adecuada tecnología, en forma de bienes de capital, de las mejores fuentes disponibles, nacionales o extranjeros (Lall, 1993). Katz (1987), manifiesta que el conocimiento en los PED tiene un origen interno, pero también uno externo; el conocimiento proveniente del exterior viene incorporado en los equipos que se importan, en las patentes, los manuales de instrucciones, licencias y contratos de asistencia técnica; y el conocimiento tecnológico proveniente del interior se encuentra en las actividades de I+D propias de la empresa, en los individuos, entre otros. Los PED tienden a concentrar sus esfuerzos de búsqueda tecnológica hacia las actividades de investigación aplicada, es decir al final del espectro, ya que al principio del espectro en la investigación básica se necesitan más recursos. Esto no aplica para todas las industrias, ni tampoco para todas las investigaciones; en algunas industrias como la de la refinación del petróleo en PED, el tipo de investigación que más se realiza es básica, no se realiza tanta investigación aplicada porque no se tienen los suficientes recursos ni conocimientos.

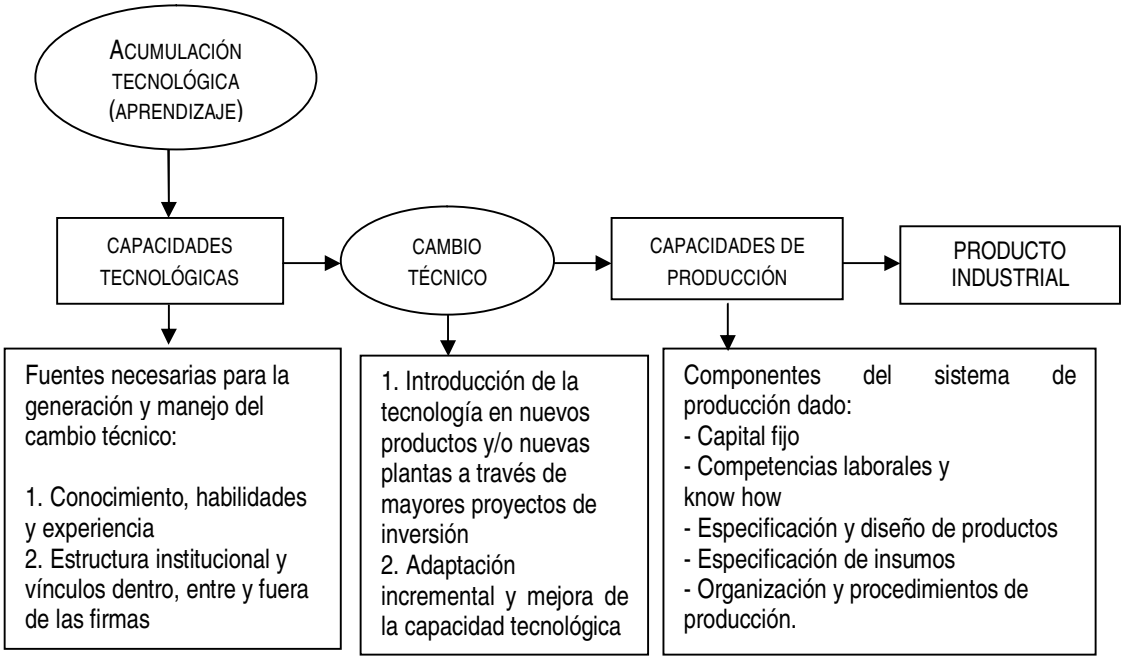
La evolución en el uso de los diferentes conceptos de aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas en los PED fue alimentada en gran medida por los resultados de dos grandes proyectos llevados a cabo durante el periodo comprendido entre finales de los 70's y principios de los 80's. El primer proyecto fue el "*Programa de Investigación en Ciencia y Tecnología*", financiado por IDB/ECLAC[16], que se basó en una investigación comparativa, al nivel de empresa, de la industria metalmecánica de seis países latinoamericanos; el segundo, financiado por el Banco Mundial se llamó "*La adquisición de capacidades tecnológicas*", este estudio incluyó a empresas de América Latina, India y Corea del Sur. Estos estudios mostraron que muchas firmas de estos PED han experimentado importantes procesos de aprendizaje tecnológico, con lo cual se demuestra que estas firmas no son simples receptoras de la tecnología proveniente de PD. El análisis mostró que las firmas latinoamericanas no solo fueron capaces de asimilar y adaptar la tecnología transferida, sino que también la mejoraron e incluso en algunos casos la exportaron.

Bell y Pavitt (1995), explican el proceso mediante el cual las firmas de los PED, a partir de su acumulación de conocimientos tecnológicos y de su aprendizaje, pueden llegar

[16] Banco Interamericano de Desarrollo (IDB), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (ECLAC).

a adquirir habilidades tecnológicas para a partir de estas generar cambios técnicos y aumentar su capacidad de producción, lo que finalmente les permitirá llevar al mercado un producto nuevo (Véase la figura 1.2).

Figura 1.2 Acumulación tecnológica: Conceptos y términos básicos



Fuente: Traducción propia, a partir de Bell y Pavitt (1995).

Bell y Pavitt (1995) dicen que sólo unos pocos países han logrado altas tasas de crecimiento de la productividad mediante la transferencia de tecnología proveniente de los PD; por ejemplo, en Corea, las tasas anuales de crecimiento de la productividad del trabajo en la industria generalmente han superado el 10 por ciento desde la década de 1960, y las tasas de crecimiento de la productividad total de los factores en la industria manufacturera han sido sustancialmente superiores a los de la industria avanzada. En muchos otros PED las tasas de crecimiento de la productividad total de los factores en la industria han sido a penas una fracción de las tasas correspondiente en Corea, y en algunos casos siguen siendo negativos (Nishimizu y Page, 1989; Pack 1988,1992).

1.2.1 La construcción de capacidades tecnológicas en Latinoamérica

A diferencia de los países desarrollados donde el cambio tecnológico (CT) consiste en reducir costos, en América latina este proceso se ha caracterizado principalmente por la adaptación de tecnologías foráneas al medio local y a los suministros de factores; como señala Teitel (1984), el CT en la industria latinoamericana parece ser un resultado emergente al realizar actividades manufactureras y deliberado a partir de las decisiones de las empresas de establecer laboratorios de I+D. En los PED el CT está condicionado a la demanda del mercado y la producción; dentro de los componentes que marcan diferencias entre PD y PED a la hora de aprender, se resaltan las diferencias en cuanto a tamaño de empresa, el sector al que pertenecen (público o privado), la estructura del mercado, los recursos humanos calificados y las políticas proteccionistas, entre otros Teitel (1984).

En América Latina las actividades de CT se han reflejado principalmente en: *i)* Usar distintas clases de materias primas, *ii)* Reducir el tamaño de la planta, *iii)* Diversificar la combinación de productos, *iv)* Adaptar el diseño de los productos, *v)* Emplear maquinaria de menor capacidad y más sencilla, y *vi)* Ampliar la capacidad del equipo existente. El desarrollo tecnológico que presentan los PED de América Latina parece estar conformado por tres etapas consecutivas: *a)* Adquisición de información técnica y eventual elaboración de productos finales, *b)* Modificación de la información para adaptarla a los mercados locales y a los suministros de factores, y *c)* Creación de nueva información técnica (Teitel, 1984).

Hebert-Copley (1990), contrariamente a la concepción tradicional de los 60's y 70's, ha señalado que no es del todo cierto el que los países menos desarrollados son receptores pasivos de la nueva tecnología; él señala que diferentes estudios realizados muestran que las empresas manufactureras de estos países participan activamente en el dominio, adaptación y creación de tecnología. Aunque si es cierto que el cambio técnico se ha dado de manera más constante y rápida en los países desarrollados. Un tanto en desacuerdo con Lall, Hebert-Copley (1990) dice que la acumulación de capacidad tecnológica no es producto exclusivamente del aprendizaje a través de la experiencia, sino que ese éxito también depende de las decisiones de invertir recursos en la capacitación, cambio organizacional y asistencia técnica, a fin de promover el aprendizaje a nivel de la producción.

Bell y Pavitt (1995) hablan de que el cambio estructural, en cuanto a capacidades tecnológicas, se ha visto limitado en la industria de América Latina durante varias décadas; ponen el ejemplo de Brasil, quienes en la década de 1950 desarrollaron un importante sector de bienes de capital, aunque no les sucedió lo mismo con otros sectores, como el del acero, por el surgimiento de la producción competitiva a nivel internacional. Del mismo modo, la industria del automóvil creció rápidamente en Argentina durante los años 1950 y 1960, y una estructura de industrias nacientes surgieron basadas en proveedores especializados, pero posteriormente no se hicieron esfuerzos para desarrollar nuevos modelos o para mantenerse al día con las tecnologías desarrolladas en otro lugar (Katz y Bercovich 1993).

De acuerdo con Katz (2007), la realidad latinoamericana muestra que una pequeña fracción de la sociedad – alrededor del 40% de la población total – ha conseguido una transición satisfactoria a los artefactos e instituciones de la modernidad, y vive hoy mucho mejor que en el pasado. Gran parte de la nueva riqueza generada por la apertura comercial externa y la desregulación de los mercados se concentra en ámbitos restringidos de la sociedad y en sectores particulares de la estructura productiva, pero ello no alcanza para decir que los países en su conjunto se han beneficiando de la transición a economías más abiertas al exterior y más desreguladas. En su opinión, el *Talón de Aquiles* de las economías latinoamericanas debe buscarse en el bajo nivel que alcanza el aparato productivo, y en el hecho de que el ritmo de cambio tecnológico que se incorpora año tras año no es suficiente, ni esta adecuadamente distribuido a lo largo de la estructura productiva como para permitir que la productividad media de la economía en su conjunto se vaya acercando a la que exhibe el mundo desarrollado.

Algunos autores han evaluado las capacidades tecnológicas de ciertos países, tal es el caso de Villavicencio et al. (1995), quienes hicieron un estudio para la Industria Química Mexicana (IQM), ellos descompusieron las capacidades tecnológicas en las siguientes actividades: a) Adaptación de maquinaria y equipo, b) Negociación y contratación de tecnología, c) Diseño de procesos, d) Mejoras y modificaciones a procesos, e) Fabricación propia de maquinaria, piezas y partes, f) Desarrollo de nuevos productos y g) Búsqueda de alternativas tecnológicas. Por otro lado, definieron los mecanismos para la adquisición de nueva tecnología en las siguientes actividades: Contratación de personal, contratos globales

de transferencia de tecnología, utilización de servicios de consultoría, compra de equipos y maquinaria, y desarrollo propio. A partir de las encuestas que realizaron llegaron a la conclusión de que la mayoría de las empresas de la IQM tiene una importante capacidad interna de aprendizaje tecnológico debida, principalmente, a la experiencia en la modificación y mejora de procesos y productos; pero la interacción entre las empresas y su entorno aun no es óptima para el aprovechamiento de sus capacidades.

Otro estudio fue el realizado por Katz (2007), quien analizó el caso de Ford Argentina[17] y el de Turri S.A.[18], él concluyó que del amplio espectro de tareas científico-tecnológicas involucradas en el desarrollo de capacidades tecnológicas domésticas, las de mejoras de productos, procesos y tecnologías de organización de la producción que describen los dos estudios de casos, corresponden al segmento de esfuerzos tecnológicos de menor sofisticación técnica, pese a que involucran numerosas formas de aprendizaje asociadas al "*reverse-engineering*" y a la mejora de productos, procesos de organización y formas de organización de los procesos productivos, pero sin avanzar significativamente en la búsqueda de productos y procesos nuevos a escala universal. En los dos modelos analizados por Katz (2007) resulta claro que conjuntamente con sus tareas productivas las firmas desarrollan nuevos conocimientos tecnológicos mejorando diseños de producto, procesos de fabricación o rutinas de organización del trabajo. Sin embargo también resulta claro que ello ocurre en una escala "menor" y como un subproducto de la producción, y no como parte de una estrategia formalmente planteada con la mirada puesta en un futuro más lejano.

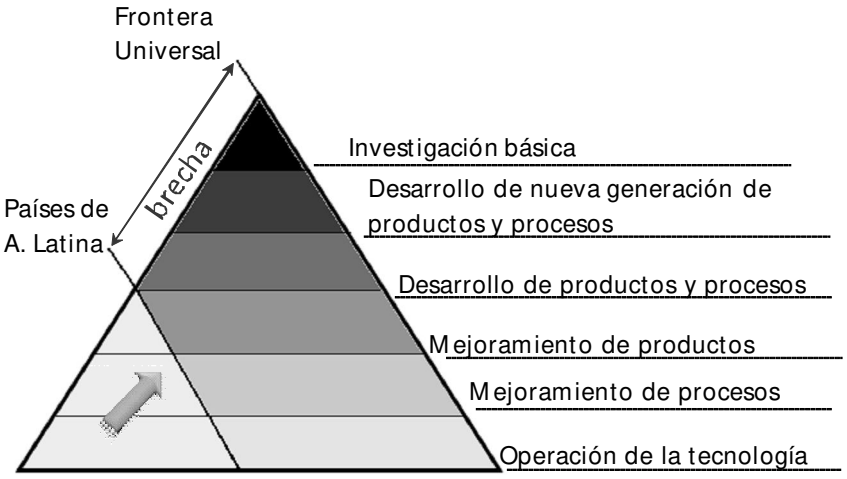
A partir de los trabajos de Katz (1976 y 2007), se reconoció que son las empresas, en lo individual, y no los sectores industriales los que aprenden; adicionalmente evidenció que es incorrecto pensar que las firmas latinoamericanas no llevan a cabo esfuerzos tecnológicos locales en sus tareas productivas. Señaló que en realidad se mejoran productos y procesos, se desarrollan nuevos modelos de organización de la producción, se crean y afianzan al interior de las firmas departamentos de ingeniería de todo tipo, se desarrollan proveedores, y surgen como subproducto del crecimiento sinergias y externalidades de gran

[17] Ver Katz, J., 1994, Del Falcon al Palio, un complejo proceso de reestructuración de la firma. Mimeo, CEPAL.
[18] Véase, Castaño, A., Katz, J. y Navajas, F., 1986, en Katz, J., 1986, Desarrollo y Crisis de la Capacidad tecnológica Latinoamericana. BID/CEPAL, Buenos Aires.

significancia. Las firmas latinoamericanas crean procesos de aprendizaje a través de los cuales van adquiriendo habilidades de los PD; durante estos periodos de aprendizaje las firmas latinoamericanas llevan un proceso *Endo-dirigido*, es endógeno en tanto que las firmas aprenden de las actividades y procesos que desarrollan al interior, y es dirigido debido a la presencia de las tecnológicas desarrolladas en por PD; mientras exista la relación proveedor-usuario, entre PD y PED, habrá aprendizaje endógeno (generado de manera interno) y dirigido (generado de la relación con el PD).

De acuerdo con Katz (2007), existe una brecha entre el nivel de capacidades tecnológicas alcanzadas en América Latina y los PD; como se observa en la figura 1.3, durante la fase "endo-dirigida" del desarrollo económico las firmas de la región alcanzaron a cubrir las fases más sencillas del proceso de creación doméstica de capacidades y conocimientos tecnológicos, pero muy pocas de ellas lograron realmente trascender de ese plano y avanzar hacia etapas más maduras y sofisticadas del proceso de desarrollo de conocimientos tecnológicos nuevos[19].

Figura 1.3 Niveles de capacidad tecnológica alcanzados en América Latina en la fase del desarrollo 'endo-dirigido' de post-guerra



Fuente: Tomado de Katz, J, (2007).

[19] Vease, Katz, J, 2007, working paper, Cambios estructurales y ciclos de destrucción y creación de capacidades productivas y tecnológicas en América latina.

Dice Katz "…A diferencia de las firmas de países más desarrollados, las firmas latinoamericanas parecen conformarse con comprar internacionalmente equipos de capital y tecnología cuando los necesitan.[20] Pocas han desarrollado vínculos profundos con el aparato universitario local, con los laboratorios públicos que integran el Sistema Innovativo Nacional de cada país, o han creado sus propios elencos profesionales con el fin de explorar la frontera tecnológica del campo particular de actividad en que operan".

El gasto que hacen en actividades de I+D los países latinoamericanos ha sido tradicionalmente bajo, nunca ha sido superior a un punto porcentual del PIB, como máximo. Lo cual es apenas una quinta parte de lo que los países desarrollados gastan en esta materia. Dada la naturaleza del sistema innovativo, que se desarrolló al amparo del sector público durante las décadas de post-guerra, 80% de dicho gasto lo hacen institutos y laboratorios del ámbito estatal y las universidades públicas, mientras que solo 20% queda en manos de empresas privadas (Lugones, 2005; Ricyt, 2000).

Como lo señalan Hebert-Copley (1990), Latinoamérica no ha sido receptora pasiva de la tecnología desarrollada por PD, sino que a través de diferentes procesos de aprendizaje ha podido empezar a construir capacidades tecnológicas para endogenizar cada vez más actividades de sus diferentes procesos de producción, no solo de bienes y servicios, sino también de producción de conocimiento tecnológico. A partir de la construcción de capacidades tecnológicas, las firmas latinoamericanas han podido desarrollar proveedores locales y disminuir las exportaciones de productos o la participación de compañías extranjeras. A través de los vínculos con PD las firmas latinoamericana han podido endogenizar las capacidades tecnológicas que han desarrollado, esto les ha permito incorporar su aprendizaje al interior de la firma.

[20] Las encuestas de innovación que se efectuaron en los últimos años en Chile, Argentina, Brasil, Colombia y otros países mostraron que 80% de los esfuerzos de mejora tecnológica que las firmas declararon haber hecho se expresan a través de la adquisición de maquinas nuevas en el exterior. Curiosamente las firmas dicen introducir muchas innovaciones en productos y procesos, pero al mismo tiempo afirman que es poco lo que gastan localmente para alcanzarlas. Ello puede estar explicado por el hecho de que las industrias que lideran el proceso expansivo son ´dominadas por proveedores´ (Pavitt, 1987), al mismo tiempo que la reciente re-estructuración del aparato productivo latinoamericano ha marginado a los proveedores domésticos de equipos de capital priorizando las importaciones desde PD.

1.3 Actividad Innovadora y Procesos de Innovación

Schumpeter (1939) estableció la diferencia entre invención, innovación y difusión. Él define la invención como la generación de una nueva pieza de conocimiento; la innovación como la traducción de I+D anteriores en un nuevo producto/proceso que llega al mercado; y la difusión como la imitación de la innovación al ser adoptado por un número bastante grande de competidores.

Las invenciones carecen de importancia económica hasta que sean puestas en práctica (Vegara, 1985), por tanto el comportamiento económico que en realidad es importante no es la producción de nuevo conocimiento, ni la invención en un sentido estricto; de hecho no todas las innovaciones llevan consigo innovaciones científicas (Schumpeter, 1978). Un invento no necesariamente se convierte en una innovación, muchos inventos no se comercializan y permanecen desconocidos, por lo tanto no se consideran innovaciones; el invento debe ser socializado, llevado al mercado, para considerarse una innovación.

Rosenberg, N. (1976) expuso que los efectos que incrementan la productividad del cambio tecnológico empiezan con el proceso de innovación y no con el de invención; además identificó la fecha de invención como la primera concepción del producto en su forma principalmente comercial y la fecha de innovación como la primera aplicación comercial y venta del producto; señala también que este intervalo varía dependiendo del tipo de producto, ya que mientras para algunas invenciones pueden no existir grandes obstáculos técnicos para su ejecución una vez que la idea básica ha sido establecida, para otras invenciones estos obstáculos son grandes y solo pueden ser superados tras realizar investigación y experimentación.

Las innovaciones no necesariamente son de carácter tecnológico, ni se refieren exclusivamente a la creación de nuevos productos, las innovaciones pueden ser no tecnológicas y pueden referirse a procesos además de los dos casos anteriores; seguramente lo que permite diferenciar una innovación es la posibilidad de generar un beneficio diferencial; esto señala que no se debe entender a la innovación como una sola cosa o hecho en particular, sino que debe ser vista desde su conjunto, ya que está asociada a varios conceptos (Schumpeter, 1939; Dosi, 1988)

El manual de Oslo (2005) define una innovación como "la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores"; señala además que para que haya innovación debe, como mínimo, el producto, el método de comercialización o el método de organización ser nuevo (o significativamente mejorado) para la empresa; este concepto engloba los productos, procesos y los métodos que las empresas son las primeras en desarrollar y aquellos que han adoptado de otras empresas u organizaciones.

La primera clasificación de las innovaciones o combinaciones, de acuerdo a su tipo, aparecen en la "*Teoría del Desenvolvimiento Económico*" (Schumpeter, 1978), donde se distinguen 5 tipos: 1) Introducción de un nuevo bien, 2) Introducción de un nuevo método de producción que no ha sido probado antes, 3) Apertura de un nuevo mercado, 4) Dominio de una nueva fuente de aprovisionamiento de materias primas o de bienes semifacturados, y 5) Creación de una nueva gran organización en cualquier industria, como la de una posición de monopolio o bien la anulación de una posición de monopolio existente con anterioridad.

De acuerdo con el Manual de Oslo[21] (2005) existen cuatro tipos de innovaciones: 1) De producto, 2) De proceso, 3) De mercadotecnia, referida a la aplicación de un nuevo método de comercialización, y 4) De organización, entendido como la introducción de un nuevo método organizativo en las prácticas, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores de la empresa.

La innovación es inherente a la incertidumbre, es incierta, puesto que es imposible predecir de manera precisa los costos y el desempeño que tendrá el nuevo producto, proceso o servicio, así como la aceptación que tendrá por parte de los consumidores; esta incertidumbre por tanto conlleva un proceso de aprendizaje a través de la experimentación o de mejoramiento del entendimiento a través de la teoría (Mowery y Rosenberg, 1979).

Como lo dicen Villavicencio et al. (1995), la innovación está relacionada con la forma de organización de los factores de producción y las formas de vinculación con el entorno. Las innovaciones no se dan como un hecho aislado e independiente, sino que están

[21] El Manual de Oslo, en español, puede ser consultado en la Internet en la siguiente dirección: www.tragasa.es

relacionadas con muchos factores y traen atrás todo un proceso. De acuerdo con Pavitt (2003), a nivel empresarial los procesos de innovación pueden ser categorizados dentro de tres campos: 1) Cognitivo, de cómo las firmas generan y mantienen su *know how* para desarrollar sus tareas, 2) Organizacional, referido a la forma en que las empresas hacen las cosas internamente o de cómo las hacen de manera conjunta con otras empresas, o 3) Económico, en relación a cómo las empresas establecen internamente incentivos para asegurar la innovación de manera continua y en la dirección correcta. Además el proceso de innovación difiere dependiendo del tamaño de la empresa, del sector en el que se encuentra, del tipo de conocimiento que maneja, de la experiencia y el tipo de estrategia que maneja la empresa, del tipo de innovación. Las innovaciones en las grandes empresas involucran a una gran cantidad de personas en funciones más especializadas, y con responsabilidades que están cambiando a través del tiempo; mientras que en las empresas pequeñas, por ejemplo las decisiones relacionadas con nuevas oportunidades, las asignaciones de recursos, y la coordinación de actividades funcionales son realizadas por los administradores.

El proceso de innovación involucra la exploración y explotación de oportunidades de un nuevo, o mejorado, producto, proceso o servicio, basado en una ventaja técnica (*know how*), en un cambio en la demanda de los consumidores, o en una combinación de las dos anteriores. Podría decirse que el proceso de innovación se enfoca a satisfacer principalmente tres necesidades[22]: la producción de conocimiento científico y tecnológico, la transformación del conocimiento en artefactos de trabajo, y dar respuesta a la demanda del mercado o crear demanda para el nuevo producto. Una empresa podría seguir una secuencia, aunque no siempre lo hace, para llegar a un producto innovador, empezando por una innovación cognitiva donde obtuviera el conocimiento necesario para desarrollar un nuevo producto, una vez que ha adquirido este conocimiento procedería a transformarlo en un artefacto, en un producto o servicio, y finalmente teniendo ya el nuevo producto podría, a través de publicidad, crear la demanda en los consumidores para llevarlo al mercado, en

[22] Teniendo en cuenta que el proceso de innovación puede ser de carácter cognitivo, organizacional o económico se identifican las necesidades que satisface, de esta manera la innovación de tipo cognitivo es la que busca la producción de nuevo conocimiento científico o tecnológico, la innovación organizacional es la encargada de transformar el nuevo conocimiento en artefactos de trabajo, y finalmente la innovación económica es la que tiene como objetivo satisfacer la demanda del mercado con un producto, o crear demanda para el nuevo producto.

este caso se hablaría de un proceso de Technology push; o podría suceder de manera inversa, es decir que la empresa identifica la demanda de los consumidores y busca satisfacer esa necesidad, para ello desarrolla el nuevo producto y lo lleva al mercado para su comercialización, en este caso sería un proceso de Demand pull[23].

Como lo indica Dosi (1988), el proceso de innovación implica una actividad intrínsecamente incierta de búsqueda y resolución de problemas basada en diferentes combinaciones de conocimiento público y privado, principios científicos generales y experiencias idiosincráticas, procedimientos bien articulados y competencias tácitas. Dosi (1988), dentro del proceso de innovación identificó cinco características: 1) Las actividades de innovación son inciertas e imprecisas, 2) Son el resultado de grandes oportunidades tecnológicas y avances en cuanto a conocimiento científico, 3) Las actividades de innovación tienden a estar integradas dentro de las empresas manufactureras, 4) Las personas involucradas en el proceso de innovación usan, mejoran, y producen cosas a través del proceso de hacerlas "*learning by doing"*, a través de actividades informales para resolver problemas de producción, reuniendo las necesidades específicas de los clientes, buscando formas de resolver los cuellos de botella existentes en la producción, y 5) El cambio técnico es una actividad acumulativa, esto quiere decir que no es algo que se consigue de un día para otro, sino que es todo un proceso que va cambiando día a día y que va creando una memoria organizacional, la cual permite ir haciendo mejoras continuas, aunque este cambio no sea siempre positivo, implica una acumulación de conocimiento basado en antiguas experiencias.

A su vez Dosi (1988) expresa que los patrones de innovación presentan algunas propiedades en común: primero, los patrones normales de cambio tecnológico tienden a seguir trayectorias definidas por conjuntos de conocimientos y experiencias específicas; segundo, las principales discontinuidades en los patrones de cambio están asociadas con cambios en paradigmas tecnológicos; y tercero, la irreversibilidad en los avances tecnológicos también significa que, los cambios en los conjuntos de posibilidades de producción predominan sobre los cambios dentro cualquier conjunto dado. Las innovaciones incrementales que se derivan de innovaciones previas están delimitadas por

[23] Para un mejor entendimiento de estos conceptos consultar Rothwell, R., 1994, Industrial Innovation: sucess, strategy, trends, en Dodgson, M. and R. Rothwell, The Handbook of Industrial Innovation.

las oportunidades tecnológicas que tienen; en general el progreso tecnológico a través del desarrollo y la explotación de elementos y conocimientos públicos es compartido por todos los actores involucrados en cierta actividad, en ciertos sectores, en ciertas firmas específicas o en ciertas formas de acumulación de conocimiento; todas estas necesidades que deben ser satisfechas por futuras innovaciones son definidas en lo que Dosi (1988) llama *Paradigma tecnológico*.

Las actividades de I+D en las empresas de negocios se han institucionalizado y han llegado a considerarse una fuente de descubrimientos, invenciones, innovaciones y mejoras (Pavitt, 2003); sin embargo, como ya se mencionó, el proceso de innovación es complejo, no es un proceso que pueda ser estandarizado para todas las empresas, involucra muchas variables; de hecho una empresa exitosa no puede explicar completamente el proceso que siguió para alcanzar el éxito, tanto así que no puede estar segura de que los nuevos procesos que realiza también sean exitosos; como lo señala Dosi (1988) tanto el cambio tecnológico como el cambio organizacional en cada empresa son procesos acumulativos, por lo cual presenta diferencia entre firmas.

1.4 Marco conceptual

El objetivo de este marco conceptual es precisar en las definiciones que se tomarán del marco teórico para explicar la evidencia empírica. Como se mostró en los tres primeros apartados de este capítulo, el marco teórico que da soporte a la investigación está conformado por dos grandes cuerpos teórico:

1) *Los procesos de Aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas*; los procesos de aprendizaje permiten identificar la manera en que aprenden los países en desarrollo que son analizados en esta investigación; el estudio de las capacidades tecnológicas permite identificar las capacidades que han desarrollado los agentes, así como la manera en que los países bajo estudio se involucran con el proceso de producción de los catalizadores desde que surge la necesidad de éstos hasta que se producen y pueden ser empleados en la industria.

En esta investigación el proceso de aprendizaje es entendido como un proceso de adquisición de conocimientos y habilidades; estos conocimientos pueden venir de fuentes internas o externas a la organización y se pueden adquirir a través de diferentes mecanismos, incluido el aprendizaje a través de la práctica (Bell, 1984). Los países analizados (Brasil, Colombia y México) son países en desarrollo que han aprendido principalmente a través de proceso de imitación de productos, procesos, etc.; estos países han aprendido de países desarrollados, de los cuales importan tecnologías y productos. En algunos casos adquieren catalizadores para refinar petróleo de compañías extranjeras, y mediante ingeniería a la inversa aprenden sobre la formulación y caracterización de los catalizadores.

De otro lado, el proceso de construcción de capacidades tecnológicas se entiende como el resultado de un proceso de aprendizaje y acumulación de conocimiento tecnológico (Torres, 2006); las capacidades tecnológicas son el reflejo de los conocimientos y habilidades adquiridas por los individuos de la organización, a través de los procesos de aprendizaje o innatos a ellos. Cabe aclarar que el aprendizaje y las capacidades tecnológicas están relacionados con las personas y no con las organizaciones, son las personas las que tienen los conocimientos y las habilidades para generar las capacidades. En los países analizados la construcción de capacidades tecnológicas se ha dado gracias a los procesos de aprendizaje que han empleado, y principalmente a las alianzas que han establecido con compañías extranjeras productoras de catalizadores; así como por la formación y entrenamiento que dan a su capital humano.

La endogenización de las capacidades tecnológicas de una firma se logra a partir de los procesos de aprendizaje, de la formación de recursos humanos, del resultado de actividades de investigación y desarrollo (Garay, 1998). Se puede de hablar de capacidades endógenas o endogenizadas cuando ya no es necesaria la participación de agentes externos para llevar a cabo un proceso o producir un bien. El término endógeno es utilizado por distintas disciplinas (como matemáticas, psicología, medicina, biología, entre otros) para hacer referencia a algo que es originado dentro de una cosa; según la RAE (Real Academia de la lengua Española) endógeno hace referencia a algo "que se origina o nace en el interior, o que se origina en virtud de causas internas". De acuerdo con esta investigación, el término endógeno en este caso se usa para hacer mención a las capacidades que surgen

desde el interior de la firma, que se han construido a partir de los proceso de aprendizaje desarrollados por su capital humano.

En el caso de los catalizadores para refinar petróleo, la evaluación de las capacidades tecnológicas y la medición del nivel de endogenización de dichas capacidades se realizó a partir de las tres fases de las que se compone el proceso de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores: i) *Demanda del catalizador*, esta actividad es desarrollada por la petrolera nacional, por ende es endógena al país del cual se refiere, siempre se realiza de manera interna; ii) *Investigación y Desarrollo*, dependiendo de las capacidades tecnológicas que tiene el país estas actividades puede ser desarrollada de manera endógena por firmas nacionales o de manera exógena por firmas extranjeras; y finalmente iii) *Escalamiento, Producción y Venta*, esta fase contempla la producción y comercialización del catalizador desarrollado, que está en función de las capacidades tecnológicas nacionales para llevar a cabo dichas actividades.

En el cuadro 1.1 se presentan las tres fases del proceso y los mecanismos que existen para suplirlas (endógeno o exógeno); de acuerdo a estas dos variables podrían existir tres modelos de innovación diferentes para el desarrollo y producción del nuevo catalizador; estos modelos se ven afectados no sólo por las capacidades tecnológicas nacionales sino también por las estrategias definidas por la compañía petrolera nacional.

Cuadro 1.1 Modelos de innovación para la producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores pare refinar petróleo

	Modelos de innovación		
Fases del Proceso	A	B	C
i	Endógeno	Endógeno	Endógeno
ii	Exógeno	Endógeno	Endógeno
iii	Exógeno	Exógeno	Endógeno
Grado de endogenización	Bajo	Medio	Alto

Fuente: Elaboración propia.

El modelo de innovación "A" es un modelo con un bajo grado de endogenización, esto quiere decir que las capacidades tecnológicas con las que cuenta la firma no son suficientes para desarrollar el proceso de manera interna, se debe recurrir a la colaboración de agentes externos; en este modelo las fases de *Investigación y Desarrollo* y *Escalamiento* son realizadas por una compañía externa que tiene las capacidades tecnológicas para hacerlo.

El modelo de innovación "B" tiene un grado medio de endogenización; las firmas que utilizan este tipo de modelo han desarrollado más capacidades tecnológicas que las firmas que emplean el modelo "A". Esto indica que las firmas con un grado medio de endogenización pueden satisfacer de manera interna las fases de *Demanda del catalizador* e *Investigación y Desarrollo*, solamente la tercera fase del proceso es ejecutada por otra firma externa. En el modelo de innovación "C" el grado de endogenización es alto, todas las fases del proceso se desarrollan de manera endógena; las firmas que emplean este modelo cuentan con las capacidades tecnológicas suficientes para completar todo el proceso de manera interna; no necesitan trabajar en alianza con firmas externas para suplir alguna de sus fases.

Los países en desarrollo analizados en esta investigación empezaron utilizando el modelo "A", esto se debió a que cuando entraron en la industria no tenían las capacidades necesarias por ser nuevos en el mercado; gracias a los procesos de aprendizaje que estos países han desarrollado se han desplazado hacia modelos con mayor grado de endogenización. Más adelante, en el capítulo metodológico (capitulo 2, apartado 2.4), se presentarán los indicadores, para cada fase, que permiten medir las capacidades tecnológicas de los países analizados; los indicadores permitirán identificar el modelo que está siendo usado actualmente, así como la trayectoria que han seguido para llegar a este punto (capítulo 5, apartado 5.4).

2) *La Actividad innovadora y los procesos de innovación*, siguiendo a Schumpeter (1939), se define la invención como la generación de una nueva pieza de conocimiento y la innovación como la traducción de I+D anteriores en un nuevo producto/proceso que llega al mercado. Las innovaciones no necesariamente son de carácter tecnológico, ni se refieren exclusivamente a la creación de nuevos productos, pueden ser no tecnológicas y pueden referirse a procesos además de los dos casos anteriores. Como se verá en los capítulos 4 y

5, en los países analizados las compañías nacionales petroleras han desarrollado importantes innovaciones, tanto radicales como incrementales, sobre catalizadores; Ecopetrol ha hecho principalmente innovaciones incrementales, mientras que el IMP y Petrobras han hecho de los dos tipos de innovaciones.

El concepto de procesos de innovación será entendido de aquí en adelante como el proceso que involucra la exploración y explotación de oportunidades de un nuevo, o mejorado, producto, proceso o servicio, basado en una ventaja técnica (*know how*), en un cambio en la demanda de los consumidores, o en una combinación de las dos anteriores (Mowery, D. and Rosenberg, N., 1979). Podría decirse que el proceso de innovación se enfoca a satisfacer principalmente tres necesidades: *i)* La producción de conocimiento científico y tecnológico, *ii)* La transformación del conocimiento en artefactos de trabajo, y *iii)* Dar respuesta a la demanda del mercado o crear demanda para el nuevo producto. Los procesos de innovación en los países analizados pueden ser entendidos a partir de las patentes sobre catalizadores que tienen las compañías analizadas; como ya se mencionó, en algunos casos son innovaciones incrementales y en otros casos innovaciones radicales, aunque en la mayoría de las veces se patentan innovaciones incrementales. También se debe tener en cuenta que no todos los catalizadores que se patentan llegan a ser comercializados, lo que significa que algunos se quedan en simples invenciones.

2. METODOLOGÍA: AGENTES, INDICADORES Y MODELOS DE ENDOGENIZACIÓN

En este capítulo se pretende explicar la metodología que se utilizó para llevar a cabo la investigación; se exponen las principales fuentes de información y los motivos que llevaron a la elección de los agentes de estudio, también se explican las herramientas utilizadas para la consecución de la información, así como la metodología seguida para la construcción de las bases de datos y de los indicadores utilizados para la identificación de las capacidades tecnológicas. El capítulo se compone de cinco secciones; en la primera sección se presenta el diseño de la investigación, en este apartado se explica el tipo de investigación, las principales fuentes de información y el tipo de información recabada; en la segunda sección se explican los agentes del estudio de caso, se mencionan los agentes que se tuvieron en cuenta para la recolección de información y se señala la característica fundamental que llevó a la elección de los agentes; en la tercera sección se explica la metodología utilizada para la construcción de las bases de datos de las patentes, se mencionan las fuentes de información, los campos que contienen las bases de datos y se enseñan los mecanismos de búsqueda utilizados; en la cuarta sección se habla sobre los indicadores utilizados, asimismo sobre la construcción de estos; finalmente, en la última sección se presentan los modelos de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores con los cuales se medirá el grado de endogenización de dicha producción en los países analizados.

2.1 Diseño de la investigación

Esta investigación está basada en un estudio de caso múltiple; los estudios de caso son una estrategia de investigación fundamentada en un análisis empírico, que puede ser holístico o integrado, dependiendo del tipo de fenómeno que está haciendo estudiado y de las preguntas de investigación (Yin, 2003). En esta investigación el análisis fue de tipo holístico, esto quiere decir que se analizó cada caso de manera individual; solo se hizo un análisis integrado para la comparación de los tres países bajo estudio. Para el análisis de las capacidades tecnológicas de Brasil, Colombia y México se tuvieron como agentes del estudio a las empresas petroleras estatales y sus respectivos centros de investigación; en

Brasil se analizaron las capacidades de Petrobras y el Cenpes, en Colombia las de Ecopetrol y el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y en México las de Pemex y el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Con el propósito de observar la evolución de la construcción de las capacidades tecnológicas y tener en cuenta la trayectoria de los institutos, el análisis se realizó para el periodo comprendido entre 1975 y 2009. El análisis de las capacidades tecnológicas consistió en hacer primero la evaluación de los indicadores del proceso productivo, que se definen más adelante, para cada agente de estudio; y después de haber analizado los casos de manera separada se realizaron cuadros comparativos para identificar semejanzas y diferencias entre los agentes.

Para generar la evidencia empírica, en esta investigación se emplearon dos tipos de conocimiento: el codificado y el tácito; de acuerdo con Nonaka y Takeuchi (1999), el conocimiento tácito es personal y está relacionado con un contexto específico, es difícil de formalizar y comunicar; mientras que el conocimiento explícito o "codificado" es el que puede trasmitirse utilizando el lenguaje formal y sistemático. Como señala Polanyi (1967), el conocimiento tácito incluye elementos cognoscitivos y técnicos; los componentes cognoscitivos se centran en lo que Laird (1983) llama modelos mentales; mientras que el componente técnico del conocimiento tácito contiene *know-how,* oficios y habilidades concretas. En el cuadro 2.1 se muestran las principales diferencias entre conocimiento explicito y tácito.

Cuadro 2.1 Dos tipos de conocimiento

Conocimiento tácito (subjetivo)	**Conocimiento explícito (objetivo)**
Conocimiento de la experiencia (Cuerpo)	Conocimiento racional (Mente)
Conocimiento simultaneo (Aquí y ahora)	Conocimiento secuencial (Allá y entonces)
Conocimiento análogo (Práctica)	Conocimiento digital (Teoría)

Fuente: Tomado de Nonaka, I. y H. Takeuchi (1999).

La evidencia explícita surgió de la revisión de algunos documentos internos de los agentes, se revisaron resultados del ejercicio de los últimos cinco años, así mismo los balances

generales, actas de constitución, informes fiscales, las solicitudes de patente, informes de responsabilidad social, informes de gestión, entre otros; por el otro lado, el conocimiento tácito del que se habla se refiere a las entrevistas que se realizaron a los investigadores de los diferentes centros de investigación[24]. Las entrevistas fueron semiestructuradas, es decir que no se siguió ningún formato en especial para realizarlas, estas entrevistas fueron dirigidas a responder las preguntas claves de la investigación, para recolectar información relevante en cuanto a: Gasto en I+D a nivel institucional y en particular para el área de catálisis, inversión en formación y capacitación de capital humano, incentivos para la producción de conocimiento, proceso de producción de los catalizadores, agentes que participan en el proceso, entre otros; algunas entrevistas se realizaron de manera presencial y otras por vía telefónica.

Como lo explican Nonaka y Takeuchi (1999), el conocimiento tácito y explicito no necesariamente están aislados, ni son entidades separadas; sino que, por el contrario, se pueden ver como entidades complementarias; existe una interacción e intercambio entre ambos tipos de conocimiento, esta interacción se conoce como conversión del conocimiento. En el cuadro 2.2 se presentan las cuatro formas de conversión del conocimiento.

Cuadro 2.2 Formas de conversión del conocimiento

	Conocimiento tácito a	Conocimiento explícito
Conocimiento tácito desde	Socialización	Exteriorización
Conocimiento explícito	Interiorización	Combinación

Fuente: Tomado de Nonaka, I. y H. Takeuchi (1999).

[24] Véase Anexo cuadro 2.1 Relación de las entrevistas realizadas.

El proceso de exteriorización (de conocimiento tácito a explícito) se presentó cuando se realizaron las entrevistas, aunque estas juegan un doble papel ya que, por un lado, al realizarlas hay una socialización de conocimiento entre el investigador que fue entrevistado y el entrevistador y, por el otro lado, al hacer las transcripción de las entrevistas se pasa del conocimiento tácito al explícito. El proceso de interiorización, al igual que el de socialización, se pueden identificar en las reuniones que se tuvieron con los asesores, donde se revisaban y discutían documentos preliminares de la investigación (interiorización), y se comentaba sobre las siguientes actividades a realizar. Adicionalmente, el proceso de combinación está presente en toda la revisión teórica realizada, ya que se parte de la revisión de documentos (artículos, libros, etc.) para construir un nuevo documento donde se compila la teoría que forma parte del marco conceptual, que va enfocado al tema de la investigación. La información analizada fue tanto de tipo cualitativo como cuantitativo; la información cuantitativa era sobre estados financieros, niveles de inversión, producción y consumo de petróleo, entre otros; la información cualitativa fue el resto de documentos que se analizaron; en algunos casos se recopiló información cualitativa y cuantitativa, como en el análisis de patentes, y en algunas entrevistas.

Otras fuentes de información que se utilizaron fueron las revistas y los sitios electrónicos especializados (y algunos no especializados) para la industria del petróleo a nivel mundial y sobre el mercado de los catalizadores; se revisaron los sitios electrónicos de los agentes analizados, algunos otros sitios informativos sobre cambios en las industrias petroleras nacionales, así como sobre las estrategias de las petroleras latinoamericanas; la mayor parte de la información utilizada para esta investigación se obtuvo de documentos publicados en la Internet. Asimismo una fuente de información importante fue la base de datos que se construyó con las patentes solicitadas y otorgadas, en materia de catalizadores para refinar petróleo, para cada país en su correspondiente oficina nacional de propiedad intelectual; a partir de estas bases de datos se construyen algunos indicadores de producción de conocimiento sobre catalizadores; también se tuvieron en cuenta las patentes otorgadas por la United States Patent and Trademark Office (USPTO), en este campo, a las petroleras nacionales analizadas.

2.2 Agentes del estudio de caso

Esta investigación se pensó para ser realizada a nivel latinoamericano y para la selección de los agentes del estudio de caso múltiple se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

i. Facilidad de acceso a la información,
ii. Posición dominante en el mercado
iii. Producción de conocimiento sobre catalizadores para refinar petróleo
iv. Capacidades de producción de crudo y consumo de petrolíferos

Una vez que se revisó la información que estaba disponible, sobre el tema, para los países latinoamericanos y sobre los principales productores de petróleo se decidió realizar el análisis para Brasil, Colombia, México y Venezuela; más adelante por la limitación de tiempo y el acceso restringido a la información de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) se excluyó del análisis a Venezuela y solamente se analizaron los casos de los tres países restantes.

A continuación se indican las principales fuentes de información analizadas, para cada agente de estudio:

- En Colombia se tuvieron en cuenta los siguientes institutos y fuentes de información: Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS), Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE), Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) perteneciente a la Empresa Colombiana de petróleos (ECOPETROL), el Instituto Técnico del Petróleo de Barrancabermeja, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), y el Ministerio de Minas y Energía (ECOMINAS). En el caso colombiano el principal agente de estudio es Ecopetrol y el ICP, que es su instituto de investigación, el ICP es el encargado de realizar la investigación en cuanto a catalizadores para refinación de petróleo a nivel nacional; más adelante en el capítulo 3, apartado 3.3.2, se encuentra la explicación del ICP, su historia, su misión, su forma de organización, etc.

- En el caso de Brasil, se tuvieron en cuenta las siguientes fuentes de información y/o institutos: Compañía de Desarrollo de los Valles de São Francisco y Parnaíba (CODEVASF), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), High Resolution Technology & Petroleum (HRT-Petroleum), Centro de Investigaciones y Desarrollo Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES) perteneciente a Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), y Brazilian Petroleum and Gas Institute; en Brasil el principal agente del estudio de caso será Petrobras y el Cenpes, el centro de investigaciones de Petrobras; el Cenpes es el instituto encargado de realizar las investigaciones en cuanto a catalizadores para refinación de petróleo; más adelante, en el capítulo 3 se explica más a fondo el papel de este centro de investigación, así como su historia, misión, objetivos, desempeño en el área de catálisis, etc.

- En México se tuvieron en cuenta para el estudio de caso los siguientes institutos y posibles fuentes de información: El Instituto Mexicano del Petróleo IMP, la Red Mexicana de Energía (RMX), el Observatorio Ciudadano de la Energía A. C. (OCE), la página web de divulgación de Pemex, la Asociación Mexicana para la Energía y Desarrollo Sustentable (AMEDES), los grupos de investigación especializados de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Centro de Investigación en Energía (CIE) de la UNAM, así como el sitio electrónico y el servicio de publicación y distribución en línea que tiene sobre las reformas energéticas, El Foro UAM de Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana. El IMP y Pemex son los principales agentes del estudio, para México; el IMP es el instituto encargado de realizar las actividades de investigación y desarrollo (I+D) para Petróleos Mexicanos (PEMEX), no solo de catalizadores para refinación de petróleo, sino para la industria del petróleo en general; a diferencia de Brasil y Colombia, en México el instituto de investigación no pertenece a la empresa petrolera nacional, este es un organismo autónomo. Más adelante en el capítulo 3 se explica el funcionamiento del IMP, su aportación a la investigación, sus actividades, logros, propósitos y proyectos para dar solución a los requerimientos de Pemex.

2.3 Sobre la construcción de las bases de datos

A continuación se exponen los criterios mediante los cuales se construyeron las bases de datos con las patentes analizadas, así como las clasificaciones internacionales de patente que se utilizaron para realizar las búsquedas.

Brasil

La base de datos de Brasil se construyó con las patentes, concedidas y solicitadas, registradas en el Instituto Nacional de Propiedad Industrial de Brasil (INPI); dentro de la página del instituto se realizó la búsqueda de patentes, primero se realizó a partir de palabras clave y de las clasificaciones internacionales de patente correspondientes. En total se incluyeron 19 palabras por cada código; estas fueron las palabras clave utilizadas: *petróleo, refinación, oleo, combustible, craqueo, catalizador, catalítico, craqueamento, catalizadores, catálisis, gasóleos, fluido, vanadio, combustión, hidrocarburo, lecho, FCC, olefinas, y destilación.* Las Clasificaciones Internacionales de Patente (CIP)[25], fueron tomadas de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI)[26]; la mayoría de las CIP que se utilizaron se encuentran en las secciones B y C, de acuerdo con la división de la OMPI: Técnicas industriales diversas, transporte y Química, metalurgia, respectivamente. Particularmente se revisaron las siguientes clasificaciones[27]: *B01D, B01F, B01J, B01L, B03C, B03D, B05B, B05C, B05D, B23P, B32B, B60R, B65G, C01B, C01C, C01F, C01G, C01J, C02F, C04F, C07B, C07C, C07D, C07F, C07H, C07K, C08F, C08G, C08J, C08L, C09D, C09K, C10B, C10C, C10G, C10J, C10L, C10M, C11B, C11D, C12M, C13G, C21D, C23C, C30B, D01J, F01N, F23C, F23I, F25J, F28D, F28F.* En total se revisaron 52 CIP, y 19 palabras clave, por lo que se tuvieron que hacer 988 búsquedas

[25] La Clasificación Internacional de Patentes (CIP), establecida por el Arreglo de Estrasburgo de 1971, prevé un sistema jerárquico de símbolos independientes del idioma para clasificar las patentes y los modelos de utilidad con arreglo a los distintos sectores de la tecnología a los que pertenecen; para más información véase la página web: http://www.wipo.int/classifications/ipc/es/general/preface.html.

[26] La OMPI es un organismo especializado del sistema de organizaciones de las Naciones Unidas. Su objetivo es desarrollar un sistema de propiedad intelectual internacional, que sea equilibrado y accesible y recompense la creatividad, estimule la innovación y contribuya al desarrollo económico, salvaguardando a la vez el interés público. Para más información véase la página web: http://www.wipo.int/portal/index.html.es.

[27] En el Anexo Cuadro 2.2 se encuentra la descripción de las principales clasificaciones utilizadas para la búsqueda.

diferentes; En cada búsqueda se revisaron los resultados uno a uno, para seleccionar solamente las patentes que eran pertinentes para la base; al final de estas búsquedas se encontraron 98 patentes y 299 solicitudes de patente.

Posteriormente se realizó la búsqueda de patentes por titular, es decir por los nombres de las empresas que tienen más patentes en esta rama, tanto brasileñas como extranjeras. Se hicieron búsquedas para las siguientes empresas brasileñas: *Alfa Rio Química LTDA., Columbia Tecnologia em Petróleo, Companhia Brasileira de Metalurgia, COPPE, G.S.A. do Brasil Tratamentos, Instituto do Pesquisas Technological, Laboratório universal ind. e com LTDA., LENTZ S.A. Ind e Comercio, Oxiteno S.A., Paulista Caldeiras Compac, Petrobras S.A., Polialden Petroquimica S.A., Polibrasil S.A., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Minas Gerais,; y adicionalmente se realizaron las búsquedas para las siguientes empresas extranjeras: Engelhard Corporation (US), Exxon Research Engineering Company (US), Hoechst (DE), Mobil Oil Corporation (US), Phillips Petroleum Company (US), Shell Internationale Research (US), Texaco Development Corporation (US), Union Carbide Corporation (US), y UOP Incorporated (US).*

Al finalizar las búsquedas se obtuvieron en total 138 patentes otorgadas y 382 solicitudes de patente, sobre catalizadores para refinar petróleo. Una vez que se tuvo la base de patentes con todos los registros se procedió a darle formato y a analizarla, se realizaron diferentes cuadros y gráficas que se encuentran más adelante, dentro de la sección de *Análisis de patentes*; hay que señalar que tanto para las solicitudes de patente como para las patentes otorgadas o concedidas, se trabajó con la fecha en que fue presentada la solicitud ante el INPI.

Colombia

Para el caso de Colombia, la base de datos se construyó con las patentes, concedidas y solicitadas, registradas ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC); la búsqueda se realizó por las CIP, las mismas 52 que se revisaron para el caso de Brasil[28], solo en

[28] B01D, B01F, B01J, B01L, B03C, B03D, B05B, B05C, B05D, B23P, B32B, B60R, B65G, C01B, C01C, C01F, C01G, C01J, C02F, C04F, C07B, C07C, C07D, C07F, C07H, C07K, C08F, C08G, C08J, C08L,

algunos casos fue necesario incluir en la búsqueda por CIP las palabras clave[29], esto porque en Colombia es menor el número de patentes que se presentan; en total se revisaron 8119 registros. Después de realizar la búsqueda por palabras clave y CIP se realizó una nueva búsqueda pero ahora por el nombre del titular; se hicieron 12 búsquedas adicionales, para las siguientes empresas: *W.R. Grace & Company, Shell International Research, Phillips Petroleum Company, Union Carbide Chemicals and Plastics Company Inc., UOP Inc, Chemicals Limited, Chevron Phillips Chemical Company, Ecopetrol S.A., Exxon Research and Engineering Company, The Dow Chemical Company, Texaco Development Corporation, y Petróleos Brasileños*; al finalizar la base quedó con 76 patentes otorgadas, y con 147 solicitudes de patente.

México

La base de datos de patentes registradas en México se construyó sobre la base de datos proporcionada por el Dr. Manuel Soria López, esta base contenía 1009 registros sobre patentes otorgadas que tienen relación con catalizadores para refinar petróleo, la base fue construida unos años atrás, por lo cual sus registros solo llegan al año 1999 y no estaban incluidas las solicitudes de patente. Fue necesario depurar la base suministrada, con lo cual fue inevitable revisar cada registro y se eliminaron los registros que no tenían relación con esta investigación, al final de la depuración la base quedó con 346 registros.

Para completar la base se realizó la búsqueda de las patentes a través de la página del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), para las patentes otorgadas se revisaron las patentes publicadas en las gacetas desde Enero del 2000 a Febrero del 2010; para las patentes solicitadas se revisaron las gacetas desde Enero de 1991 hasta Enero de 2010; las gacetas que se revisaron estuvieron disponibles en la página electrónica del instituto; dentro de cada gaceta se realizó la búsqueda de acuerdo a los CIP, que fueron los

C09D, C09K, C10B, C10C, C10G, C10J, C10L, C10M, C11B, C11D, C12M, C13G, C21D, C23C, C30B, D01J, F01N, F23C, F23I, F25J, F28D, F28F.

[29] Para las siguientes clasificaciones fue necesario hacer las búsqueda por palabra clave: C07C, C07D y C11D; las palabras clave utilizadas fueron: petróleo, refinación, oleo, combustible, craqueo, catalizador, catalítico, craqueamento, catalizadores, catálisis, gasóleos, fluido, vanadio, combustión, hidrocarburo, lecho, FCC, olefinas, y destilación.

mismos revisados para los casos de Colombia y Brasil. Después de realizar la búsqueda para los años pendientes la base quedó conformada por 465 patentes otorgadas y 800 solicitudes de patente.

2.3.1 Descripción de las bases de datos

La base de datos de patentes sobre catalizadores para refinar petróleo, registradas en Brasil, se conforma de 138 patentes otorgadas y 382 patentes solicitadas, De aquí en adelante se hará referencia a la base de datos bajo el nombre de "*Basecatalizinpi"*; el periodo para el cual se realizó la revisión es desde 1975 hasta el 2009[30]; para el caso de las patentes otorgadas las últimas son las del año 2005, esto es porque en promedio el tiempo de concesión de una patente en Brasil, desde que se presenta la solicitud hasta que se otorga, está entre 5 y 7 años aproximadamente. La base está organizada en 12 campos: *Año de Depósito*, es el año que se presentó la solicitud de patente; *Fecha de publicación,* es la fecha en que la solicitud de patente fue publicada por primera vez, fecha en la que el documento de patente se pone a disposición del público, convirtiéndose así en parte del estado del arte, esta fecha no corresponde con la fecha en que se publica la dictaminación[31]; *Número de publicación*, es el número asignado a una solicitud de patente en la publicación, los números de publicación se componen generalmente de un código de país (dos letras) y un número de serie (variable, de uno a doce dígitos), (DE202004009768 por ejemplo); *Inventor,* el inventor es la persona nombrada en una solicitud de patente como el inventor, puede haber más de un inventor por patente, el inventor también puede ser el solicitante, el formato del inventor está formado por el apellido seguido del nombre(s) del inventor(es); *Aplicante,* el solicitante o aplicante es la persona u organización (por ejemplo, empresa, universidad, etc.) que ha presentado una solicitud de patente, puede haber más de un solicitante por cada solicitud y en algunos casos el solicitante también es el inventor, el formato del solicitante para una persona está formado por el apellido seguido del

[30] El periodo de análisis empieza en 1975 porque antes de esa fecha no se encontró ningún registro.
[31] El INPI publica sus patentes, otorgadas o solicitadas, con la fecha en que se presentó la solicitud no con la fecha en la que se hizo la dictaminación; por ejemplo, una solicitud de patente que se presentó en 1975 y que se dictaminó en 1980 está publicada con fecha de 1975, independiente de si se haya denegado u otorgado la patente cinco o siete años después, que es el tiempo promedio que se tarda en hacer la dictaminación.

nombre(s), el formato del solicitante para una organización está compuesto por todas las palabras que componen el nombre de esa organización; *Clasificación OMPI,* indica la(s) clasificación(es) que involucra el conocimiento al que hace referencia la patente, de acuerdo con la clasificación de la OMPI[32]; *Clasificación EPO[33],* al igual que el campo anterior, muestra las CIP que involucra el conocimiento al que hace referencia la patente, de acuerdo con la clasificación de la Oficina de Patentes de Europa[34]; *Número de aplicación,* el número de solicitud o aplicación es el número que se le asignó a una solicitud de patente cuando se presentó, este número en la mayoría de países está formado por un código de país (dos letras), el año de presentación (cuatro dígitos) y un número de serie (variable, máximo de siete dígitos); *Número de prioridad,* es el número de la solicitud respecto de la cual se reivindica la prioridad, este número se compone de un código de país (dos letras), el año de presentación (cuatro dígitos) y un número de serie (variable, máximo de siete dígitos), un número de serie tiene menos de siete dígitos se pueden redondear hasta siete dígitos mediante la adición de ceros (GB19950008026 por ejemplo); *Titulo,* el título es simplemente un texto corto (a menudo una frase) que describe el contenido de la solicitud, este puede ser una traducción al inglés del título de un documento no publicado originalmente en inglés; *Resumen,* contiene un resumen conciso de la divulgación de la invención tal como figuran en la descripción, reivindicaciones y los dibujos; *y Tipo de derecho,* señala si es una patente otorgada o una solicitud de patente.

La base de datos de las patentes registradas en Colombia está conformada por 76 patentes otorgadas y 147 solicitudes de patente; de aquí en adelante se hará referencia a la base de datos bajo el nombre de "*Basecatalizsic"*; el periodo para el cual se hizo el estudio es desde 1968 hasta el 2009[35], aunque el análisis será hecho para el periodo comprendido entre 1975 y 2010 porque los tres países deben ser analizados en los mismos años, y los registros de Brasil comienzan en 1975; en promedio el tiempo de concesión de una patente en Colombia, desde que se presenta la solicitud hasta que se otorga, está entre 3 y 4 años aproximadamente. La base está organizada en 11 campos: *Expediente*, este es un número de

[32] Para conocer las clasificaciones de patente véase la página web: http://www.wipo.int/classifications/ipc/ipc8trans/es/ipcpub/?lang=es&menulang=ES
[33] European Patent Office, Oficina de Patentes de Europa.
[34] http://www.epo.org/patents/patent-information/ipc-reform.html
[35] El periodo fue seleccionado de acuerdo con la existencia de los registros

8 dígitos que es asignado por la SIC, sirve para diferenciar una patente de otra; *Fecha de solicitud*, es la fecha en que se presentó la solicitud de patente; *Clasificación,* indica la(s) clasificación(es) que involucra el conocimiento al que hace referencia la patente, de acuerdo con la clasificación de la OMPI; *Título*, es un texto corto que describe el contenido de la solicitud, este puede ser una traducción al inglés del título de un documento no publicado originalmente en inglés; *Solicitante*, el solicitante o aplicante es la persona u organización (por ejemplo, empresa, universidad, etc.) que ha presentado una solicitud de patente, puede haber más de un solicitante por cada solicitud y en algunos casos el solicitante también es el inventor; *Inventor,* es la persona nombrada en una solicitud de patente como el inventor, puede haber más de un inventor por patente, el inventor también puede ser el solicitante; *Prioridad*, es el número de la solicitud respecto de la cual se reivindica la prioridad, este número se compone de un código de país (dos letras), un número de serie (variable, máximo de seis dígitos) y la fecha de presentación (dd/mm/aaaa); *Número de gaceta*, es el número de gaceta en el que salió la publicación de la solicitud de patente, este número está conformado por 3 dígitos; *Fecha de publicación,* es la fecha en que la solicitud de patente fue publicada por primera vez, fecha en la que el documento de patente se pone a disposición del público; *Número de publicación*, indica el número que tiene asignada la publicación dentro de la gaceta; *Resumen,* contiene un resumen conciso de la divulgación de la invención tal como figuran en la descripción, reivindicaciones y los dibujos.

La base de datos de patentes sobre catalizadores para refinar petróleo, registradas en México, se conforma de 465 patentes otorgadas y 800 patentes solicitadas. De aquí en adelante se hará referencia a la base de datos bajo el nombre de "*Basecatalizmex"*; el periodo para el cual se realizó la revisión es desde 1970 hasta el 2010, aunque el análisis será hecho para el periodo comprendido entre 1975 y el 2009. La base está organizada en 9 campos: *Número de solicitud*, este es un número de 6 dígitos que es asignado por el IMPI, sirve para diferenciar una patente de otra; *Año de Publicación de la solicitud*, es la fecha en que la solicitud de patente fue publicada por primera vez, fecha en la que el documento de patente se pone a disposición del público, esta fecha no corresponde con la fecha en que se publica la dictaminación; *Titular*, el solicitante o titular es la persona u organización (por ejemplo, empresa, universidad, etc.) que ha presentado una solicitud de patente, puede

haber más de un solicitante por cada solicitud y en algunos casos el solicitante también es el inventor; *Inventor,* es la persona nombrada en una solicitud de patente como el inventor, puede haber más de un inventor por patente, el inventor también puede ser el solicitante; *Prioridad*, es el número de la solicitud respecto de la cual se reivindica la prioridad, este número se compone de un código de país (dos letras), un número de serie (variable, máximo de 8 dígitos) y la fecha de presentación (dd/mm/aaaa); *Clasificación internacional,* indica la(s) clasificación(es) que involucra el conocimiento al que hace referencia la patente, de acuerdo con la clasificación de la OMPI; *Titulo,* el título es simplemente un texto corto (a menudo una frase) que describe el contenido de la solicitud; *Resumen,* contiene un resumen conciso de la divulgación de la invención tal como figuran en la descripción, reivindicaciones y los dibujos.

2.4 Sobre los indicadores utilizados

Para la medición de las capacidades tecnológicas de los países analizados, en cuanto a producción de catalizadores para refinar petróleo, se tomó en cuenta la agrupación que hace Nelson (1981) para las capacidades tecnológicas a nivel de país. De acuerdo con él, las capacidades se pueden agrupar en tres campos: *i)* Inversión física, instalaciones y equipos necesarios, *ii)* Esfuerzo tecnológico, gasto en I+D, patentes, innovaciones y *iii)* Capital humano, conocimiento formal, habilidades adquiridas por la experiencia. A partir de esta clasificación se dividió el proceso de producción de catalizadores en tres fases: la primera fase es la de *Demanda del catalizador*, esta fase está conformada por las actividades de análisis de la disponibilidad del nuevo catalizador en el mercado y requisición del nuevo catalizador; la segunda fase es la de *Investigación y Desarrollo (I+D)*, que incluye las actividades de investigación básica a nivel de laboratorio, caracterización y definición de la formulación; finalmente la tercera fase es la de *Escalamiento, Producción y Venta*, que se compone de las actividades de prueba en planta piloto, prueba industrial, realización de las mejoras incrementales necesarias, y finalmente, producción y en algunos casos venta del nuevo catalizador. Para la construcción de los indicadores del proceso también se tuvo en cuenta el análisis que realizaron Aboites et al (2004) al IMP, en materia de catalizadores.

A partir de la división del proceso productivo en fases, se definieron los indicadores que se utilizarían para cada una de ellas; a continuación se enlistan los indicadores utilizados en cada fase.

1. Demanda del catalizador
    - Producción de crudo
    - Consumo de petrolíferos
    - Capacidad instalada en refinerías
    - Balanza comercial de petróleo crudo y de derivados
2. Investigación y Desarrollo
    - Gasto en actividades de I+D
    - Capital humano dedicado a actividades de I+D
    - Infraestructura disponible para las actividades de I+D
    - Producción de nuevo conocimiento (medida a través de las patentes)
3. Escalamiento, Producción y Venta
    - Realización de la prueba piloto e industrial
    - Empresas nacionales productoras de catalizadores
    - Catalizadores desarrollados y empleados
    - Alianzas con firmas productoras especializadas

2.5 Modelos de endogenización de la producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores

Una de las estrategias utilizadas para identificar las capacidades tecnológicas de los países analizados fue estudiar el grado de endogenización del proceso de producción de los catalizadores; dependiendo de las capacidades tecnológicas del país más o menos fases del proceso de innovación se harán de manera endógena. Para medir el grado de endogenización del proceso de producción de los catalizadores y del conocimiento tecnológico en el campo, a nivel nacional, se tuvieron en cuenta los indicadores mencionados anteriormente (apartado 2.4) y los modelos de innovación de producción de

conocimiento tecnológico y de catalizadores, explicados en el capítulo 1 (apartado 1.4). Los diagramas a partir de los cuales se representan los modelos de endogenización se construyeron en base al esquema de *Triada Innovadora* presentado por Aboites et al (2004).

A continuación se exponen los diagramas con los agentes que participan en cada modelo, dependiendo de las capacidades tecnológicas nacionales:

En el *Modelo A*, la fase I (Demanda del catalizador) se hace de manera endógena por la petrolera nacional, la fase II (Investigación y Desarrollo) se hace de manera exógena por un centro de investigación extranjero y la fase III (Escalamiento, Producción y Venta) también se hace de manera exógena por una compañía extranjera productora de catalizadores; generalmente las fases II y III las hace la misma compañía extranjera. En este modelo el grado de endogenización corresponde a una tercera parte de todo el proceso, que concierne a la fase desarrollada por la petrolera nacional.

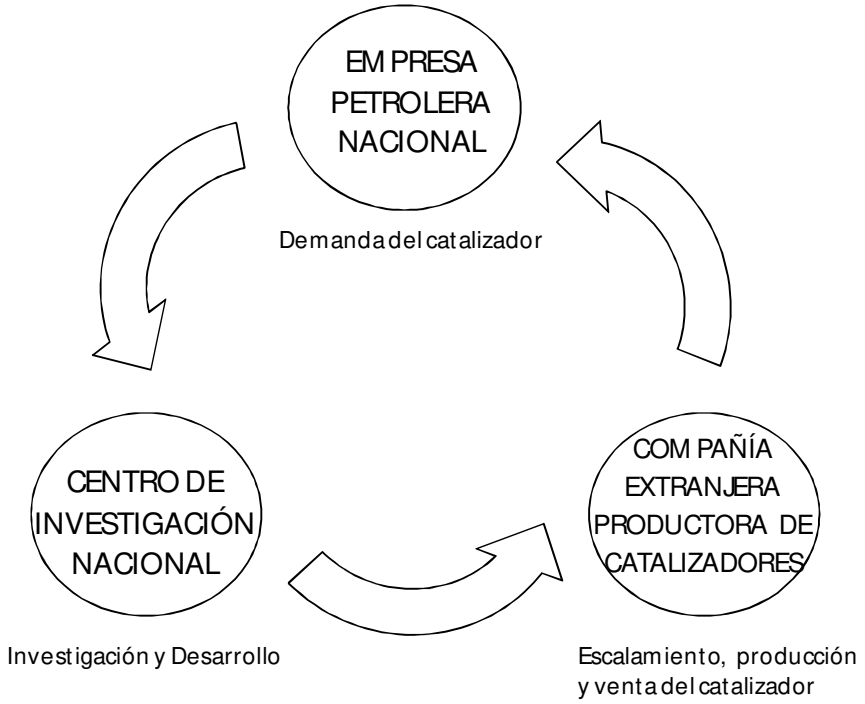
Figura 2.1 Modelo A, la fase I se produce de manera endógena



Fuente: Elaboración propia a partir de la idea de Aboites et al (2004).

En el *Modelo B*, las fases I y II se realizan de manera endógena, por la empresa petrolera y por el centro nacional de investigación; la tercera fase se realiza de manera exógena por una compañía extranjera productora de catalizadores; a diferencia del modelo A, el modelo B tiene más de la mitad de las actividades realizadas de manera endógena, solo una tercera parte es desarrollada de manera exógena, esta corresponde al escalamiento del catalizador.

Figura 2.2 Modelo B, la fase I y II se producen de manera endógena



Fuente: Elaboración propia a partir de la idea de Aboites et al (2004).

En el *Modelo C*, las tres fases del proceso de producción de catalizadores se desarrollan de manera endógena en el país analizado; la compañía petrolera nacional se encarga de hacer la requisición, del nuevo catalizador, y enviarla al centro o instituto de investigación, que puede ser interno a la compañía o externo a ella, pero de carácter nacional; el centro de investigación se encarga de hacer la investigación básica y llegar hasta la formulación y prueba del catalizador en planta piloto, de ahí le envían la formulación a la compañía

nacional productora de catalizadores, para que prueben el catalizador a nivel industrial y lo produzcan posteriormente a escala.

Figura 2.3 Modelo C, la fase I, II y III se producen de manera endógena



Fuente: Elaboración propia a partir de la idea de Aboites et al (2004).

En el *Modelo C* todo el proceso se realiza de manera endógena; se considera que el modelo actual de producción entre más se acerca al *Modelo C* indica que el país tiene más capacidades tecnológicas para producir catalizadores. En el capítulo 5 se exponen los actuales modelos de producción, utilizados por los países analizados, a partir de sus modelos se determina el grado de endogenización del proceso.

3. LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y DE LOS CATALIZADORES PARA REFINAR PETRÓLEO

El objetivo de este capítulo es presentar una descripción de la industria del petróleo, no solo a nivel mundial sino también a nivel latinoamericano; precisando aun más en los países objetos de estudio de esta investigación. En este capítulo también se presenta el estado del arte de la industria de los catalizadores para refinar petróleo, se describen los principales tipos de catalizadores que existen así como los más demandados en el mercado. Adicionalmente se da una breve descripción de la historia de las empresas petroleras de los países que están bajo estudio. El capítulo está dividido en tres partes; la primera sección se trata sobre la industria del petróleo a nivel mundial y a nivel latinoamericano; se proporciona información sobre producción de crudo, consumo de petrolíferos, reservas y comercio internacional de petróleo, entre otros. En la segunda sección se expone el estado del arte global de los catalizadores para refinar petróleo; se muestran los tipos de catalizadores, los principales consumidores y productores de los mismos. Finalmente, en la tercera sección se describen las empresas petroleras nacionales de los países bajo estudio, se explican sus principales características y se enfatiza en los institutos que realizan las actividades de I+D para este tipo de catalizadores.

3.1 Contextualización sobre la industria del petróleo

Los requerimientos energéticos de un país o región, así como la demanda de energía están determinados por las siguientes cuatro variables: a) Crecimiento poblacional, b) Crecimiento económico, c) Intensidad energética y d) Precios de los combustibles; estas variables determinan la cantidad y forma de energía que será demandada, así como el proceso de toma de decisiones sobre políticas públicas, tecnologías y tipo de energía que se deben aplicar (OCDE, 2008).

La fuente de energía más importante para el hombre proviene de los hidrocarburos, que suponen aproximadamente un 92% de toda la energía que se consume a nivel mundial, un 1.32% proviene de la energía nuclear, y el resto se origina de fuentes renovables como el agua, el sol, la biomasa y el biocombustible. Los hidrocarburos son el petróleo, el gas y el

carbón (CEPAL, 2007); según la International Energy Agency (IEA) para 2030 los combustibles fósiles constituirán el 80% de energía primaria del mundo, el petróleo continuará siendo el combustible primordial, aunque la demanda de carbón aumentará más que la de ningún otro combustible en términos absolutos.

El papel del petróleo como principal fuente de energía primaria en el mundo, junto con los factores cruciales que conlleva el uso de este energético (disponibilidad de reservas, precio e impacto ambiental, entre otros), hace que sea importante analizar el entorno internacional de este recurso no renovable; el petróleo es y seguirá siendo la fuente vital de energía del mundo hasta que no se desarrollen otras opciones tecnológicas; pero hay gran incertidumbre sobre las fuentes que proporcionarán el petróleo necesario para cubrir la demanda (IEA, 2008). La industria petrolera es sobresaliente por su inversión en capital, tanto tecnológico, como físico y humano, además de la capacitación y nivel de conocimientos técnicos que se requiere para laborar en la industria (SENER, 2007).

La industria del petróleo generalmente se divide en tres segmentos: *Upstream* (aguas arriba), se refiere a las etapas de exploración y producción; involucra la búsqueda de nuevos yacimientos y los proyectos de desarrollo de los mismos para iniciar la producción[36]. *Midstream*, este término se emplea para las actividades relacionadas con el transporte del petróleo crudo, y normalmente abarca desde el sitio de extracción hasta las refinerías; en esta etapa la mayor parte de las inversiones se destinan a oleoductos y buques tanque. *Downstream* (aguas abajo), abarca las actividades de refinación y comercialización; esta etapa es intensiva en capital, principalmente en la parte asociada con la construcción de refinerías, cuyos costos se encuentra estrechamente ligados a la complejidad de los procesos requeridos para procesar crudos de diferentes calidades y, por tanto, diferentes precios, obteniendo rendimientos variables según las configuraciones de las refinerías (SENER, 2007).

[36] La característica más relevante de esta fase es el riesgo, ya que se deben invertir fuertes sumas de capital para la búsqueda de petróleo, bajo el riesgo de que el pozo no resulte productivo; una vez que se descubre el petróleo y se evalúa la rentabilidad de la producción, se requiere invertir en equipos e instalaciones de producción para llevarla a cabo.

3.1.1 La industria a nivel global

El crecimiento económico ha atravesado diferentes etapas que han estado asociadas con cinco revoluciones tecnológicas sucesivas (Pérez, 2004)[37]; es durante la cuarta revolución tecnológica, hacia finales del siglo XIX y principios del XX, cuando empezó la era del petróleo, el automóvil y la producción en masa; durante este periodo el petróleo se convirtió en un elemento fundamental de la economía, de hecho el Ford Modelo-T, que se produjo por primera vez en Detroit, Michigan (EU) en 1913, fue el propulsor obvio de esta revolución tecnológica. Las industrias petrolera y automotriz reemplazaron a la del acero como motor de crecimiento y desarrollo, que había predominado durante la tercera revolución (Pérez, 2004).

El consumo de petróleo se encuentra estrechamente ligado al desarrollo económico de un país, sin embargo, las mayores reservas de este recurso no se encuentran en los países con mayor índice de desarrollo sino en lugares donde las condiciones físicas permitieron su formación, lo que implica la posibilidad de que se den fluctuaciones importantes en el precio, aumentando su volatilidad en el corto y mediano plazo. Estos problemas de precio y monopolización del recurso, entre otros, dieron origen a la Organización de Países Exportadores de Petróleo[38] (OPEP), un organismo que busca la unificación y coordinación de las políticas petroleras de los países miembros, que además busca las mejores vías y medios para asegurar la estabilidad de los precios en los mercados internacionales, con miras a eliminar las fluctuaciones perjudiciales e innecesarias[39]; aunque se siguen presentando problemas de fijación de precios por parte de los productores.

Durante 2006 el petróleo fue el mayor proveedor de energía primaria consumida en el mundo, aportó 35.7% del total, posicionándose por encima de otras fuentes como el gas natural, carbón, nuclear, etc. Su participación a lo largo del periodo 1996-2006 se ha mantenido siempre en niveles superiores a 35%. Su máxima aportación fue en 1999 cuando

---

[37] De acuerdo con Pérez (2004) las cinco revoluciones tecnológicas son: La revolución industrial; la era del vapor y los ferrocarriles; la era del acero, la electricidad y la ingeniería pesada; la era del petróleo, el automóvil y la producción en masa; y la era de la informática y las telecomunicaciones.

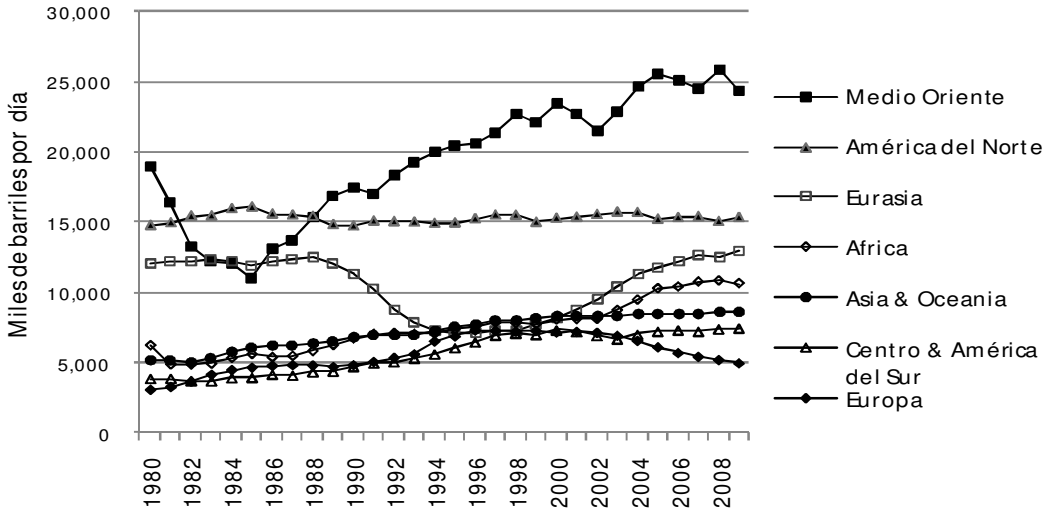
[38] La OPEP está integrada por cinco países fundadores: Arabia Saudí, Iraq, Irán, Kuwait y Venezuela; posteriormente se vincularon siete miembros más: Argelia (Julio de 2007), Angola (Enero de 2007), Ecuador (entre 1973 a 1993, y nuevamente a partir de noviembre de 2007), Nigeria (Julio de 1971), Emiratos Árabes Unidos (Noviembre de 1967), Libia (Diciembre de 1962) y Qatar (Diciembre de 1961).

[39] Tomado de la página http://www.opec.org/home/, consultada el 20 de Mayo de 2009

alcanzó el 38.8%. A finales de 2006, las reservas probadas totales de petróleo, a nivel mundial, ascendieron a 1,208.2 miles de millones de barriles (mmb). De éstas 74.9% se encuentran en los países miembros de la OPEP, 6.6% en los países pertenecientes a la OCDE[40], 10.6% en los países de la ex Unión Soviética y 7.9% en el resto del mundo. De 1996 a 2006, la única región que disminuyó su volumen de reservas fue América del Norte en 32.9% (SENER, 2007).

A partir de la figura 3.1 se puede observar la evolución de la producción de petróleo crudo a nivel mundial; desde 1980 la región del Medio Oriente[41] ha sido la mayor productora de petróleo, solo durante 1982 y 1987 se redujo la producción de la región; se puede apreciar también que la producción de América del Norte[42] ha sido relativamente estable a lo largo del periodo, en promedio han producido 15,286 miles de barriles por día (mbd).

Figura 3.1 Producción de petróleo a nivel mundial, por regiones (1980-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en EIA (2010).

[40] Los países pertenecientes a la OCDE, organizados por la fecha en que se sumaron a la organización, son: Canadá, Estados Unidos, Reino Unido, Dinamarca, Islandia, Noruega, España, Portugal, República de Irlanda, Francia, Grecia, Alemania, Turquía, Bélgica, Suecia, Suiza, Austria, Países Bajos, Italia, Japón, Finlandia, Australia, Nueva Zelanda, México, República Checa, Hungría, Polonia, Corea del Sur, Luxemburgo, Eslovaquia y Chile.

[41] La región del Medio Oriente está conformada por: Bahréin, Irán, Irak, Israel, Jordania, Kuwait, Líbano, Omán, Palestina, Qatar, Arabia Saudita, Siria, Emiratos Árabes Unidos y Yemen.

[42] La región de América del Norte está conformada por: Bermudas, Canadá, Groenlandia, México, San Pedro y Miquelón y Estados Unidos.

La región de Eurasia[43] ha tenido una evolución contraria a la de las regiones de Asia & Oceanía[44], Centro & Sur América[45], Europa[46] y África[47]; Eurasia para 1980 producía 11,992 mbd pero a partir de 1990 se redujo la producción, llegando a tener un mínimo en 1996 cuando produjo tan solo 7,004, durante estos periodos de disminución de la producción la región aumentó sus importaciones de petróleo crudo, así como de productos refinados, aunque en mayor proporción la de estos últimos.

Según los datos de Energy Information Administration (EIA), los cinco principales productores de petróleo crudo para el 2004 fueron Arabia Saudita con 10,496.24 miles de toneladas de barriles por día, seguido de Rusia, Estados Unidos, Irán y México; En 2007 los primeros cuatro lugares los siguen ocupando los mismos países, pero en la quinta posición ahora se encuentra China, que desplazó a México al sexto lugar; en 2008 y 2009 siguen en los primeros cinco lugares los mismos países; durante el 2008 la región del Medio-Oriente seguido de Norte América, con 25,584.76 y 15,037.15 toneladas de barril por día respectivamente, fueron la regiones que produjeron la mayor cantidad de petróleo a

---

[43] La región de Eurasia está conformada por: Armenia, Azerbaiyán, Belarús, Estonia, la antigua U.S.S.R., Georgia, Kazajstán, Kirguistán, Letonia, Lituania, Moldavia, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Ucrania y Uzbekistán.

[44] La región de Asia & Oceanía está conformada por: Afganistán, Samoa Americana, Australia, Bangladesh, Bután, Brunei, Birmania (Myanmar), Camboya, China, Las Islas Cook, Islas Fiyi, Polinesia francesa, Guam, Zona Franca de Hawái, Hong Kong, India, Indonesia, Japón, Kiribati, Corea del Norte, Corea del Sur, Laos, Macao, Malasia, Maldivas, Mongolia, Nauru, Nepal, Nueva Caledonia, Nueva Zelanda, Niue, Pakistán, Papúa Nueva Guinea, Filipinas, Samoa, Singapur, Las Islas Salomón, Sri Lanka, Taiwán, Tailandia, Timor-Leste (Timor Oriental), Tonga, Islas del Pacífico, Vanuatu, Vietnam y Wake Island.

[45] La región de Centro & América del Sur está conformada por: Antártida, Antigua y Barbuda, Argentina, Aruba, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Las Islas Caimán, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Islas Malvinas, Guayana Francesa, Granada, Guadalupe, Guatemala, Guayana, Haití, Honduras, Jamaica, Martinica, Montserrat, Antillas Holandesas, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Puerto Rico, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Surinam, Trinidad y Tobago, Islas Turcas y Caicos, Uruguay, Venezuela, Islas Vírgenes de EE.UU. y Islas Vírgenes Británicas.

[46] La región de Europa está conformada por: Albania, Austria, Bélgica, Bosnia y Herzegovina, Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Islas Faroe, Finlandia, la antigua Checoslovaquia, la antigua Serbia y Montenegro, la antigua Yugoslavia, Francia, Alemania Oriental, Alemania Occidental, Gibraltar, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Macedonia, Malta, Montenegro, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, Serbia, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía y Reino Unido.

[47] La región de África está conformada por: Argelia, Angola, Benín, Botsuana, Burkina Faso, Burundi, Camerún, Cabo Verde, República Centroafricana, Chad, Comoras, Congo (Brazzaville), Congo (Kinshasa), Costa de Marfil, Yibuti, Egipto, Guinea Ecuatorial, Eritrea, Etiopía, Gabón, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bissau, Kenia, Lesoto, Liberia, Libia, Madagascar, Malawi, Malí, Mauritania, Mauricio, Marruecos, Mozambique, Namibia, Níger, Nigeria, Reunión, Ruanda, Santa Elena, Santo Tomé y Príncipe, Senegal, Seychelles, Sierra Leona, Somalia, Sudáfrica, Sudán, Suazilandia, Tanzania, Togo, Túnez, Uganda, Sáhara Occidental, Zambia y Zimbabue.

nivel mundial, por día. La inversión en exploración-producción ha venido creciendo rápidamente en términos nominales, pero en gran parte este incremento se debe al aumento de los costos y a la necesidad de hacer frente a la aceleración de las tasas de agotamiento de petróleo, especialmente en las regiones que no pertenecen a la OPEP, donde los costos de producción son mayores (IEA, 2008).

El aumento en la producción mundial de petróleo depende de las inversiones que se hagan de manera oportuna y con la magnitud suficiente; entre 2007 y 2030 habría que incorporar a la producción aproximadamente 64,000 mbd de capacidad bruta adicional para cubrir la demanda esperada (IEA, 2008). Los presupuestos totales de inversión en exploración y producción de petróleo para 2009 se recortaron en un 19% con respecto a 2008, se dio una reducción de aproximadamente US$ 90,000 (IEA, 2009); la cual se puede reflejar más adelante en un incremento de los precios debido a la diferencia entre la demanda y la oferta de petróleo.

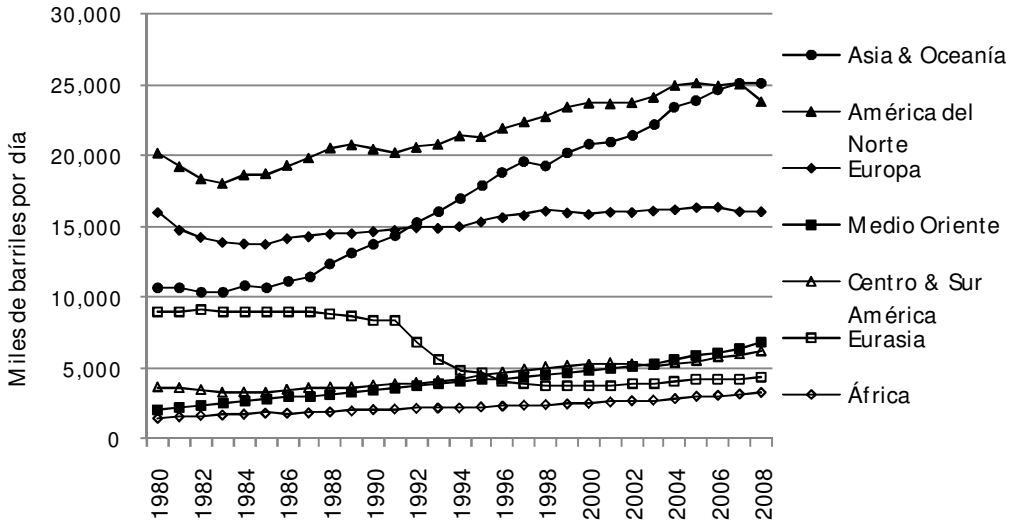
En cuanto a las reservas de crudo, para 2008, según datos de la EIA (2010) la región con el mayor número de reservas de petróleo, probadas, fue Medio Oriente, que tuvo 748 billones de barriles (bb), la segunda región con mayor número de reservas es Norte América, seguido de África, Centro & Sur América, Eurasia, Asia & Oceanía y finalmente Europa, sus reservas para 2008 fueron de 212, 115, 110, 98, 34 y 14 bb respectivamente. Los seis países con las mayores reservas de crudo en 2009 fueron: Arabia Saudita con 267 bb, seguido de Canadá con 178, luego Irán con 136, en el cuarto lugar se encuentra Irak con 115, en el quinto lugar está Kuwait con 104, y en el sexto lugar se encuentra un país latinoamericano, Venezuela, que tuvo 99.38 bb de reservas de crudo probadas. Las regiones de Europa y Asia & Oceanía son las que tienen las menores reservas de petróleo, y las que tienen la mayor diferencia entre producción y consumo.

De acuerdo a las proyecciones realizadas por la IEA (2008), el petróleo disponible en el planeta es todavía suficiente para soportar el aumento en la producción previsto para más allá de 2030; las reservas se han duplicado desde 1980 y son suficientes para abastecer al mundo con petróleo durante más de 40 años al ritmo actual de consumo.

La evolución del consumo de petróleo a nivel mundial ha sido como se observa en la figura 3.2, para el año 1980 la región que consumía la mayor cantidad del recurso era América del Norte, 20,203.80 mbd, le seguía la región de Europa. La región de Asía &

Oceanía duplicó su consumo en casi 30 años, inclusive en los últimos dos años el consumo de la región ha sido mayor al de Norte América que siempre se ha caracterizado por ser el mayor consumidor. Este fuerte incremento del consumo en la región de Asia & Oceanía acompañado de una producción constante ha ocasionado que se incrementen las importaciones de la región, más adelante en la figura 3.4 se ve reflejado este aumento en el consumo. A nivel de país, los cinco mayores consumidores en 2008 fueron: Estados Unidos, China, Japón, India y Rusia, con 19,498, 7,831, 4,785, 2,962 y 2,916 mbd, respectivamente.

Figura 3.2 Consumo de petróleo a nivel mundial, por regiones (1980-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en EIA (2010).

El consumo de la región de Europa de 1980 a 2009 ha sido de 15,264 mbd en promedio, en general ha sido constante; El consumo de la región de Eurasia fue relativamente constante hasta inicios de la década de los 90's, a partir de esta fecha el consumo disminuyó considerablemente, esta disminución es consecuencia de la disminución de la producción. La región de Centro y Sur América con el paso de los años ha ido incrementando su consumo, pero de manera paulatina, este aumento en el consumo no ha implicado un

incremento considerable de las importaciones porque la región también ha incrementado simultáneamente producción y consumo.

Las regiones que tenían el menor consumo en 1980 eran África y Medio Oriente, con 1,474 y 2,044 mbd respectivamente; aunque han incrementado su consumo continúan siendo las regiones con el menor consumo de petróleo para finales de 2008; para las dos regiones este consumo refleja el potencial que tienen para exportar crudo, sobre todo para la región de Medio Oriente que se ha convertido en la mayor productora. Debido a su vigoroso y sostenido crecimiento económico, China e India representan algo más de la mitad del incremento de la demanda mundial de energía primaria entre 2006 y 2030.

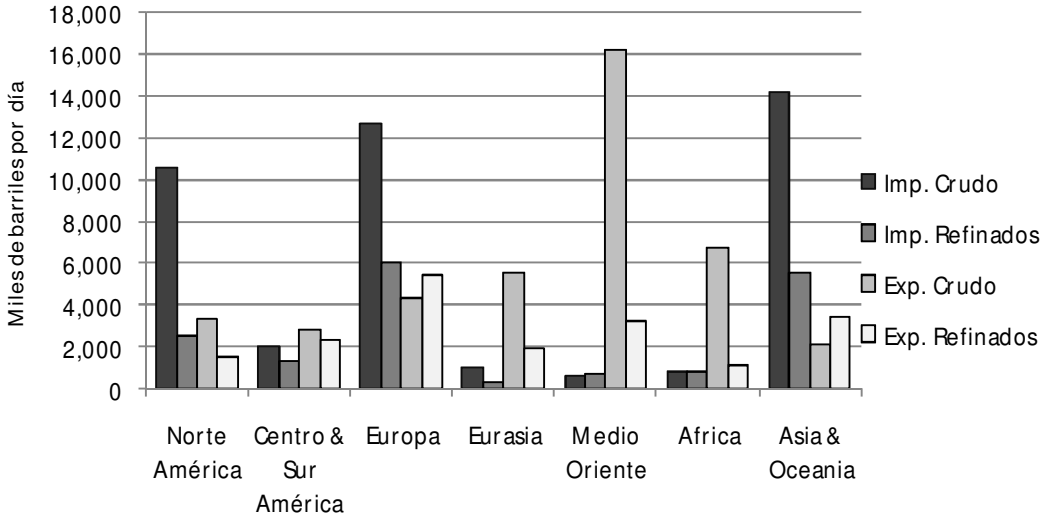
Como oferta y demanda de crudo no se localizan en el mismo lugar se genera un intenso comercio internacional de este energético; el intercambio de petróleo tiene como regiones exportadoras más importantes a Medio Oriente, Eurasia y África; y como principales regiones importadoras a Norte América, Asia & Oceanía y Europa[48]. Las mayores importadoras de petróleo refinado son las regiones de Europa, Asia & Oceanía y Norte América, pero asimismo estas regiones, a excepción de Norte América, son los mayores exportadores de productos refinados. La región de Centro y Sur América no se encuentra en el grupo de las mayores exportadoras, ni en el de las menores; la región consume un poco menos de lo que produce y como se mostrará más adelante ha podido incrementar gradualmente sus reservas de crudo; esta región también ha tenido un comportamiento estable tanto en importaciones como exportaciones (Véase la figura 3.3).

La región de Medio Oriente es una de las regiones con mayor nivel de exportaciones de petróleo refinado, esto refleja las capacidades que tienen estas regiones para refinar petróleo, lo cual también indica que es una de las regiones que consume la mayor cantidad de catalizadores para refinar petróleo. Este crecimiento de la producción de productos refinados hará que crezca la demanda de catalizadores en la industria de refinación de petróleo (SENER-2007), con lo cual también se incentiva a la investigación en nuevos catalizadores; los países y regiones que logren crear o incrementar sus capacidades en este campo podían convertirse en importantes proveedores para los grandes exportadores de productos refinados.

[48] Datos tomados de la página web: http://www.eia.doe.gov/, consulta del 20 de mayo de 2009.

A nivel desagregado, los cinco países que en 2006 tuvieron las mayores importaciones de petróleo crudo fueron: Estados Unidos, Japón, China, Corea del Sur y Alemania; del lado de los productos refinados, los mayores importadores en 2006 fueron: Estados Unidos, Países bajos, Japón, Singapur y China. El grupo de los cinco países que realizaron las mayores exportaciones de petróleo crudo en 2006 lo conformaron: Arabia Saudita, Rusia, Irán, Nigeria y Emiratos Árabes Unidos; y del lado de los mayores exportadores de productos refinados estuvieron: Países Bajos, Rusia, Arabia Saudita, Singapur y Estados Unidos.

Figura 3.3 Importaciones vs. Exportaciones de petróleo a nivel mundial, por regiones (promedio 2000-2006*)



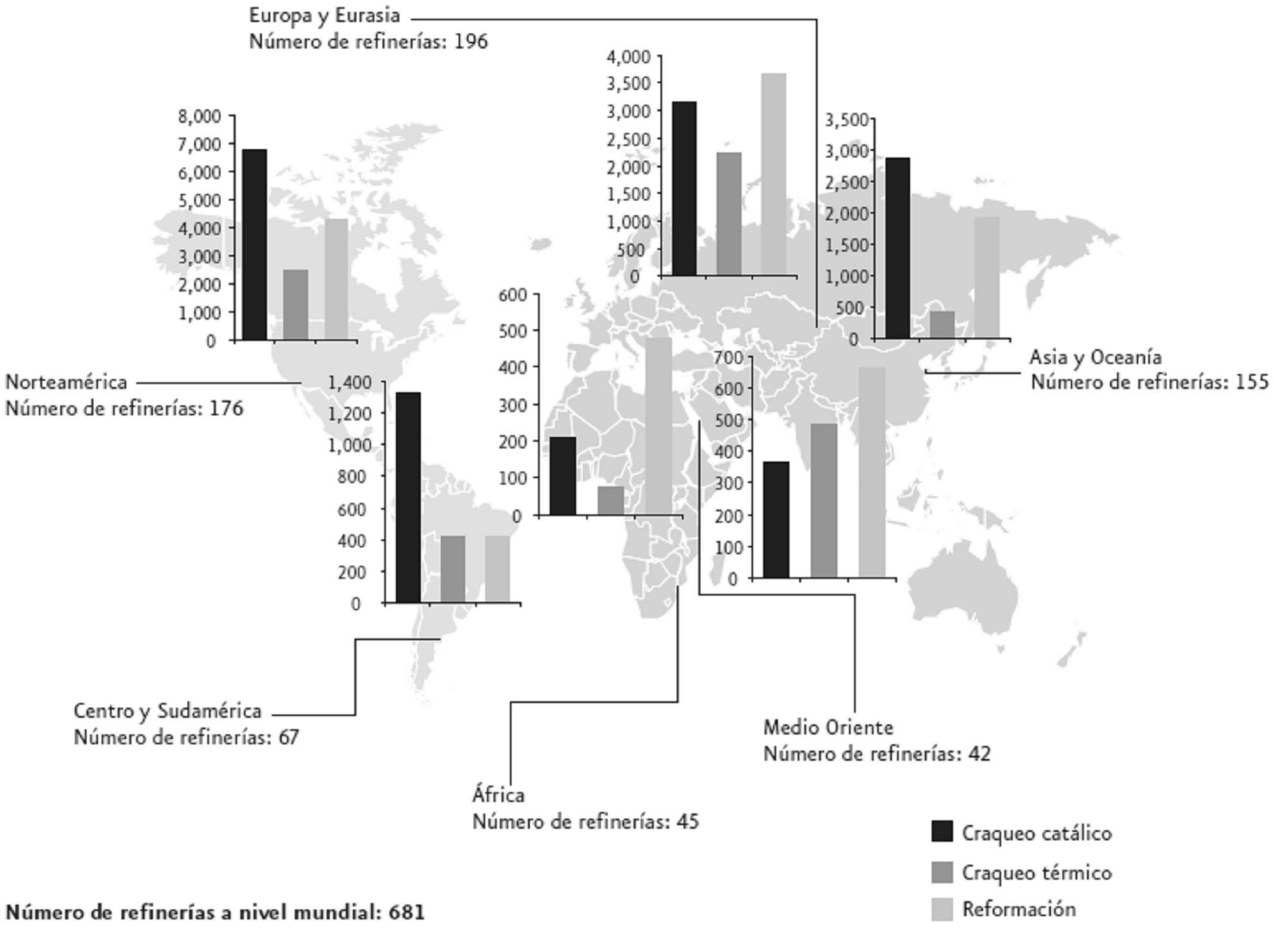
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en EIA (2010).

* El promedio se calculó a 2006 porque no estaban disponibles las cifras de las importaciones y exportaciones de productos refinados para 2007 y 2008

En 2006 la capacidad mundial de refinación se ubicó en 87,238 mbd, cifra 1.5% superior respecto al año inmediato anterior; la región que más contribuyó a este incremento fue Asia-Pacífico, que añadió 996 mbd a su capacidad en 2005. Es decir, del total de la capacidad adicional registrada en el mundo el año 2006, 76.1% se ubicó en Asia-Pacífico. Los países responsables de la mayor parte del incremento en la región fueron China con

442 mbd y la India que aumentó, en 434 mbd, su capacidad de refinación. A lo largo del periodo 1996-2006 la capacidad mundial de refinación creció con una tasa media de crecimiento anual (tmca) de 1.3% (SENER, 2007), esto se puede ver en la figura 3.4.

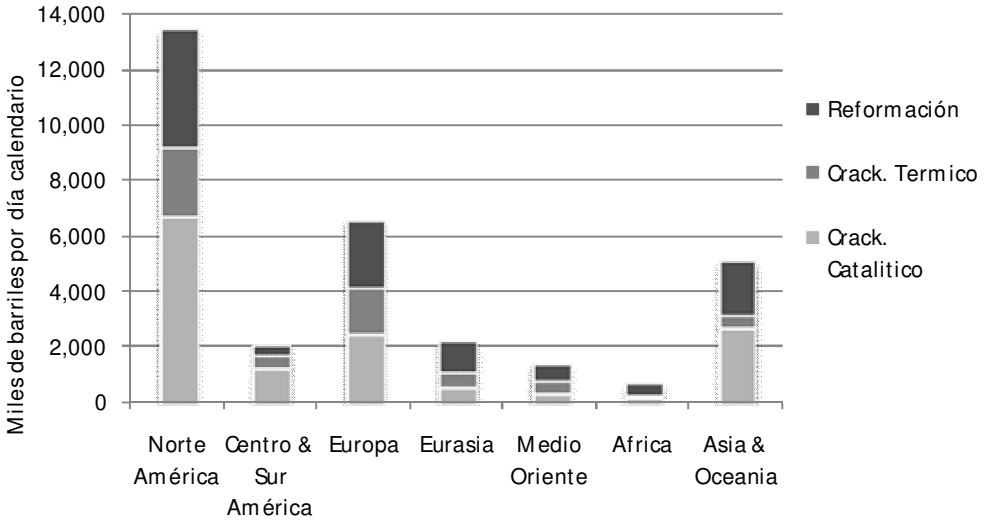
Figura 3.4 Capacidad instalada, por proceso de refinación por regiones para 2005 (Miles de barriles por día)



Fuente: Tomado de SENER (2007), realizado a partir de datos de EIA.

Los principales procesos de refinación de petróleo son: Destilación, craqueo catalítico, craqueo térmico y reformación (EIA, 2010)[49]; la refinación del petróleo empieza con la destilación o fraccionamiento del petróleo crudo en grupos de hidrocarburos separados; la mayor parte de los productos destilados se convierten posteriormente en otros productos más utilizables cambiándoles el tamaño y estructura de las moléculas de sus hidrocarburos a través del rompimiento (cracking), reformado y otros procesos de conversión (Quiminet.com, 2003).

Figura 3.5 Refinación de petróleo a nivel mundial, por regiones y por tipo de proceso (promedio 2001-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en EIA (2010).

En la figura 3.5 se presenta la capacidad de refinación promedio por regiones, para el periodo 2001-2009. Se puede observar que el proceso de refinación más utilizado, después de la destilación[50], es el craqueo catalítico[51], que es en el que se concentra esta

[49] Véase los Anexo Figura 3.1 Esquema general del sistema de refinación y Anexo Cuadro 3.1 Principales procesos de refinación del petróleo.
[50] Los países que destilaron la mayor cantidad de petróleo en 2009 fueron: Estados Unidos, China, Rusia, Japón y Corea del Sur.
[51] Los países que más utilizaron el proceso de craqueo catalítico en 2009 fueron: Estados Unidos, Japón, China, Brasil y Canadá.

investigación; después sigue el de reformación[52] y posteriormente el de craqueo térmico[53]. Estados Unidos, Japón y Rusia son los tres países con la mayor capacidad de refinación en al menos tres de los cuatro principales procesos de refinación para 2009.

El sector de refinación, a nivel mundial, ha reaccionado de manera tardía a la creciente demanda de petrolíferos; la lenta reacción es más grave si se tiene en cuenta que cada vez disminuye la disponibilidad de crudos ligeros y aumenta la de crudos pesados, cuyos rendimientos de destilados intermedios y ligeros no son comparables con aquellos de crudos de menor densidad. La refinación siempre ha sido el sector de menores márgenes de ganancia en la industria petrolera; las inversiones en la industria han sido limitadas a pesar de que los márgenes de rentabilidad de las refinerías han aumentado en años recientes (SENER, 2007).

3.1.2 El papel de Latinoamérica en la industria

Las realidades a nivel energético de los países que integran la región latinoamericana son realmente muy contrapuestas, es por esto que en algunos casos la historia del petróleo en la zona debe efectuarse por separado. Los países más importantes de la región en el sector petrolero y gasífero son: Venezuela, México y Brasil, en cuanto a hidrocarburos, y Bolivia en lo concerniente al gas[54].

En este marco, es indudable que Venezuela y México han sido, hasta el momento, los protagonistas más importantes en cuanto a la producción de hidrocarburos en América Latina. Las historias de ambos países han marcado fuertemente la realidad energética de toda la región; sobre todo en los últimos años, ha crecido en importancia la participación de Brasil, hasta convertirse en otro de los actores primordiales. En la actualidad, Venezuela es uno de los países más importantes a nivel mundial en cuanto a producción y reservas petroleras. Aunque puede concluirse que Latinoamérica no es una región central en el

[52] Estados Unidos, Japón, Rusia, Alemania y Canadá fueron los países que en 2009 procesaron la mayor cantidad de petróleo a través del proceso de reformación.
[53] Estados Unidos, Italia, Rusia, Irán y Alemania fueron los países que sometieron al proceso de craqueo térmico la mayor cantidad de petróleo en 2009.
[54] http://www.panoramapetrolero.com/articulos/historia-del-petroleo-latinoamericano, consultada el 15 de Mayo de 2009

mundo en cuanto a la extracción de hidrocarburos, a pesar de contar con países de relativa importancia en el escenario de reservas, las tecnologías empleadas en el sector alcanzan un nivel interesante, situándose a la altura de las que pueden observarse en países líderes en la materia[55].

Para el 2008, según datos de la EIA, México ocupó el séptimo lugar en la producción de petróleo a nivel mundial, Venezuela el décimo, Brasil el número doce y Colombia el 28 respectivamente. En 2009 cambiaron las posiciones, en cuanto a producción de crudo, México ocupó el séptimo lugar a nivel mundial y el primero a nivel latinoamericano, con 3,001 mbd, Brasil fue noveno productor a nivel mundial y el segundo a nivel latinoamericano, produjo 2,571 mbd; Venezuela ocupó el puesto once a nivel mundial y el tercero a nivel latinoamericano, produjo 2,472 mbd, Argentina ocupó el cuarto lugar en Latinoamérica y Colombia el quinto[56]; durante el 2009 Colombia produjo 680 mbd y Argentina 796.

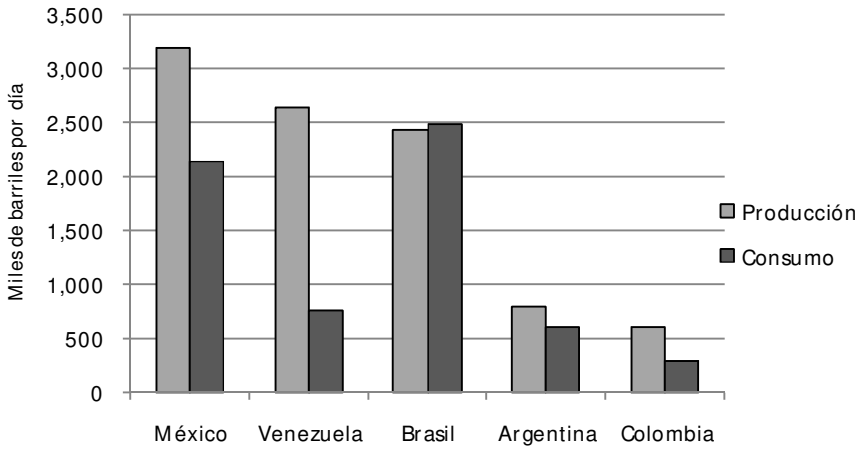
En la figura 3.6 se presenta gráficamente la producción de crudo y el consumo de petrolíferos de los principales países en Latinoamérica para 2008; se observa que Brasil y México fueron los mayores consumidores de petrolíferos en 2008, consumieron 2,128 y 2,485 mbd, la diferencia entre estos dos países es que México es un gran productor y su oferta es mayor que su demanda, mientras que Brasil aunque es un gran productor no tiene la oferta necesaria para cubrir la demanda correspondiente. Venezuela, Argentina, Chile y Colombia, fueron los siguientes mayores consumidores a nivel latinoamericano[57].

En 2009 las mayores reservas de petróleo crudo las tuvo Venezuela, que tenía 99 billones de barriles, después se situaron Brasil, México, Ecuador, Argentina y Colombia, con 13, 11, 5, 3 y 1 billón de barriles. A partir del año 2000 las reservas de crudo de México han ido disminuyendo, al igual que las de Colombia; de otro lado, las reservas de Ecuador, Venezuela y Brasil han tendido a incrementarse durante la última década; sin embargo, desde el descubrimiento de las gigantescas reservas de hidrocarburos del llamado

[55] Ídem
[56] El sexto mayor productor de petróleo en Latinoamérica, para 2008, fue: Ecuador, le siguen Perú, Cuba, Bolivia, Guatemala, Chile, Puerto Rico, Uruguay, Paraguay, Panamá, Haití, Honduras, Costa Rica, República Dominicana, Nicaragua, El Salvador y Jamaica.
[57] El séptimo lugar lo ocupa Ecuador, seguido de Perú, Puerto Rico, Cuba, República Dominicana, Panamá, Jamaica, Guatemala, Bolivia, Honduras, Uruguay, Costa Rica, El Salvador, Nicaragua, Paraguay y Haití.

pre-sal brasileño en 2007 se calcula que sus reservas de crudo se duplicarán (Petroleo.com, 2009).

Figura 3.6 Producción vs. Consumo de petróleo, principales países latinoamericanos de la industria (2008)



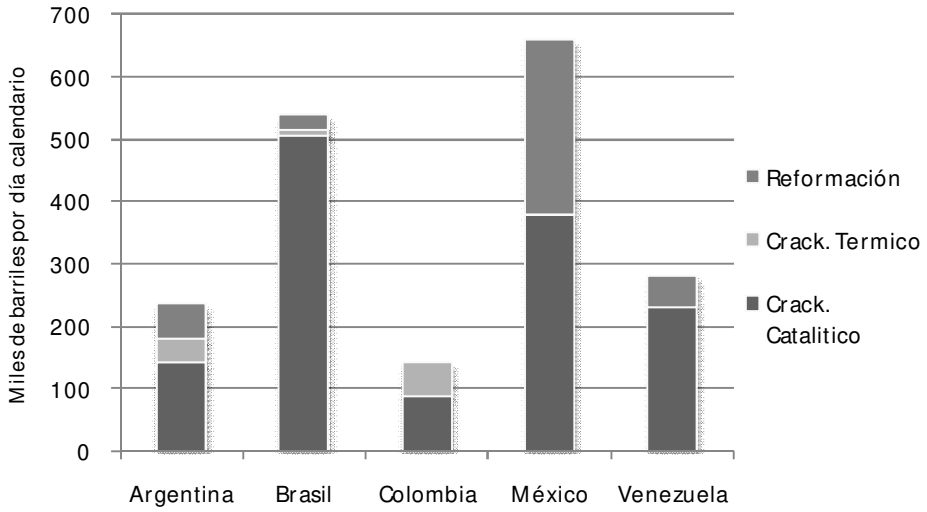
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en EIA (2010).

A partir de la figura 3.7 se identifica que los procesos de refinación más utilizado por los principales países petroleros latinoamericanos, en el año 2009; Brasil destiló 1,908 mbdc, México 1,540, Venezuela 1,282, Argentina 626 y Colombia 286; en cuanto a capacidad para refinar petróleo a través de Craqueo catalítico Brasil fue el que tuvo la mayor capacidad en 2009, 505 mbdc, le siguió México con 381, Venezuela con 232, Argentina 141 y Colombia 90. Para 2009 Colombia fue el país latinoamericano con la mayor capacidad para refinar petróleo a través de craqueo térmico, 52 mbdc, en el segundo lugar estuvo Argentina con 38,42. Finalmente en cuanto al proceso de reformación, el país con la mayor capacidad en 2009 fue México, con 279 mbdc, le siguieron Argentina con 57, Venezuela con 50 y Brasil con 24 respectivamente.

La continua demanda de gasolina, la necesidad de reducir la porción residual del barril de crudo y la creciente importancia de la petroquímica hacen que el cracking catalítico este en las primeras posiciones en la industria de la refinación (Warren, 2006). Brasil y Venezuela son los países que han mostrado el mayor dinamismo en cuanto a la adición de capacidad de refinación en la región. Brasil la incrementó 31.1% respecto a 1996, el mayor crecimiento en la región, pasando de 1,481 a 1,941 mbd. Por otro lado,

Venezuela presenta un crecimiento de 11.0% con relación a 1996, añadiendo 128 mbd de capacidad, para ubicarla en 1,289 mbd hacia 2006. En ambos casos, estos crecimientos son el resultado de estrategias[58] en donde ambos países buscan incrementar sus capacidades de refinación actuales para convertirse en exportadores de petrolíferos (SENER, 2007).

Figura 3.7 Capacidad de refinación de petróleo por tipo de proceso, principales países latinoamericanos de la industria (2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en EIA (2010).

México y Venezuela en 2006 fueron los países latinoamericanos que realizaron las mayores exportaciones de petróleo crudo, 2,002 y 1,446 mbd respectivamente, le siguen Ecuador, Brasil y Colombia, con 380, 362 y 199 mbd respectivamente; a su vez los que realizaron las mayores exportaciones de productos refinados fueron: Venezuela, Brasil, Argentina, México y Colombia, con 736, 208, 207, 130 y 77 mbd respectivamente. Los mayores importadores de petróleo crudo a nivel latinoamericano, para 2006, fueron: Brasil, Chile, Perú, Puerto Rico y Cuba, con 360, 226, 113, 73 y 45 mbd respectivamente, para el caso de

[58] Las estrategias llevadas a cabo por estos países también tienen como objetivo realizar inversiones en todas las fases de la industria, desde la exploración y explotación de hidrocarburos hasta refinación, de modo que puedan procesar los crudos pesados que estos países producen y aumenten sus ganancias.

los productos refinados, los mayores importadores fueron: México con 402 mbd, Brasil con 273, Puerto Rico con 152, Panamá con 87 y Chile con 85.

Brasil fue considerado un importador neto de petróleo, pero desde el año 2003 su producción doméstica comenzó a cubrir las necesidades internas, con lo cual se redujeron sus importaciones (Mogollón, 2008).

3.2 Los catalizadores para refinar petróleo

El primer reporte formal de un trabajo sobre catálisis data de 1817, aunque muchos años atrás ya se había observado la presencia de agentes aceleradores en algunas reacciones químicas. En 1835 se empezó a utilizar el término *catalizador* para identificar aquellos compuestos que promueven reacciones químicas sin ser consumidos en las mismas; el término fue acuñado por Jöns Jakov Berzelius. La catálisis ha sido considerada una ciencia, desde 1890, por las diversas disciplinas involucradas en el estudio de los catalizadores; la catálisis es una rama de la cinética química e involucra diferentes disciplinas como la física, la ingeniería química, la química orgánica, física del estado sólido y ciencia de materiales entre otros (Fuentes y Díaz, 1988). Los catalizadores se usan principalmente en cinco grandes segmentos del sector industrial: refinación de petróleo, petroquímica, química fina y de especialidad, polimerización y ambiental (Aboites et al, 2004); la importancia de la catálisis, desde el punto de vista económico, se soporta en que alrededor del 70% de los procesos químicos involucran procesos catalíticos (Maubert, 1991); de acuerdo con Haggin (1996), entre el 20% y el 30% del PIB de los países desarrollados proviene de la aplicación de procesos catalíticos en la industria.

Los procesos catalíticos más importantes por su volumen de aplicación son: a) La síntesis de amoniaco, producto del cual México tenía planeado ser el mayor productor del mundo, b) La síntesis de ácido sulfúrico, c) La hidrogenación de aceites y grasas vegetales para consumo alimenticio, d) La desintegración catalítica que aumenta el rendimiento del petróleo en productos ligeros, e) La reformación de gasolinas para uso en automóviles y camiones, f) Los convertidores catalíticos en los escapes de automóvil para disminuir la contaminación atmosférica, y g) Los procesos de hidrotratamiento (hidrodesulfuración,

hidrodenitrogenación, hidrodemetalización) para disminuir impurezas del petróleo (Fuentes y Díaz, 1988).

De acuerdo con los objetivos de esta investigación se hará énfasis en los catalizadores para refinar petróleo; estos catalizadores son producto de la ingeniería química, su importancia dentro de esta disciplina radica en la capacidad que tienen para reducir el consumo de energía y acelerar las reacciones (Gil, 1999). Los catalizadores para refinar petróleo juegan un papel importante dentro de la industria, ya que contribuyen a aumentar el rendimiento de productos valiosos, al cumplir con las especificaciones de calidad de productos dispuestas por las autoridades ambientales y a disminuir los consumos de energía de las unidades industriales, contribuyendo con todo esto a aumentar los márgenes de rentabilidad de las refinerías y complejos petroquímicos (IMP, 2005).

La tecnología de catalizadores para refinar petróleo se desarrolló en Estados Unidos, desde los años treinta del siglo pasado; su origen se dio gracias a los descubrimientos en catálisis de hidrocarbonos, diseñados en laboratorios industriales y auxiliados por la investigación científica básica. Para la industria de la refinación, la catálisis constituye el *Paradigma Tecnológico* a partir del cual se desarrollan los procesos de producción; conforme el patrón genérico dentro del cual se llevan a cabo las reacciones físico químicas, es posible separar a el paradigma tecnológico de la catálisis, en tres sistemas relativamente independientes: i) Homogénea, ii) Heterogénea, y, iii) Enzimática[59]. A nivel mundial la mayoría de los procesos catalíticos utilizados en la refinación de combustibles se desarrollan a partir del paradigma de la catálisis heterogénea (Soria, 2004).

Los catalizadores para refinar petróleo tienen tres características básicas: actividad, selectividad y estabilidad; la característica de *actividad* está medida por su capacidad para transformar una fracción de petróleo; la característica de *selectividad* se refiere a la capacidad del catalizador para orientar la reacción hacia el producto deseado; la característica de *estabilidad* está asociada al tiempo de vida del catalizador en el reactor y a la capacidad del catalizador para ser regenerado; el rendimiento de un catalizador está determinado por la relación entre la cantidad de producto de alto valor resultante y el volumen de la fracción de petróleo procesado (Aboites et al, 2004).

[59] Véase el Anexo Cuadro 3.2 El paradigma de la catálisis y las trayectorias tecnológicas de catalizadores en la industria petrolera.

Con la segunda guerra mundial se dio la explotación masiva de los recursos petroleros, el crecimiento de esta industria para estos años estuvo ligado fundamentalmente con el desarrollo de un catalizador, el catalizador de desintegración catalítica en lecho fluidizado (FCC por sus siglas en inglés) (Fuentes y Díaz, 1988); este proceso rompe las moléculas pesadas del petróleo en moléculas o fracciones más ligeras, este proceso es usado principalmente en los combustibles (Quiminet.com, 2003). El petróleo crudo es una mezcla de diferentes hidrocarburos (la mayor parte saturados) que pueden ser agrupados en familias: parafinas (e isoparafinas), naftenos y aromáticos; o pueden ser agrupados según el número de átomos de carbono que existen en la molécula o según el punto de ebullición o volatilidad, que depende fundamentalmente del tamaño de la molécula y de su conformación.

En las refinerías el petróleo es separado mediante el proceso de destilación, en este proceso aproximadamente 75% de los compuestos son volátiles, esta fracción volátil se separa, en orden decreciente al punto de ebullición, en el siguiente orden: 1) hidrocarburos gaseosos (metano o butano), 2) gasolina ligera, 3) gasolina pesada o nafta, 4) querosina, 5) gasóleo ligero, 6) gasóleo pesado y 7) Residuos. Generalmente los productos obtenidos en este proceso no tienen la calidad necesaria, por lo tanto se requiere transformar estos productos en otros con mayor valor comercial, o que tengan un mayor valor estratégico para la organización; el 90% de estos procesos de transformación son catalíticos (Fuentes y Díaz, 1988).

Según el Handbook of Petroleum Refining Processes (Meyers, 1996), los procesos catalíticos más importantes de la refinería, de acuerdo con el consumo de catalizadores, son clasificados de la siguiente manera: 1) Desintegración catalítica en lecho fluidizado (FCC por sus siglas en inglés), 2) Hidrotratamiento, 3) Hidrodesintegración, 4) Reformación de naftas, 5) Alquilación, 6) Isomerización, 7) Tratamiento de efluentes (recuperación de azufre, endulzamiento, entre otros) y 8)Procesos de especialidad (Eterificación, obtención de hidrogeno, destilación reactiva, entre otros).

Las innovaciones tecnológicas en los catalizadores para refinar petróleo están en función de sus características de actividad, selectividad y estabilidad; las innovaciones, incrementales o radicales, se expresan en la reducción del consumo energético al lograr que las relaciones se lleven a cabo en condiciones más favorables, minimizando los costos de

operación y/o permitiendo el procesamiento de cargas más pesadas (Aboites et al, 2004). Adicionalmente la innovación en catalizadores para refinar petróleo es necesaria para poder cumplir con la legislación ambiental, ya que el impacto ambiental de los catalizadores se refleja en la calidad de los combustibles utilizados; se necesitan combustibles que disminuyan las emisiones de contaminante que van al ambiente y esto se puede lograr mediante la reformulación y realización de mejoras tecnológicas en los catalizadores, o a través de cambios tecnológicos en los automóviles. La gasolina natural además de que no cumple con los estándares ambientales, no es suficiente para cubrir la demanda, los crudos tienen un máximo de 30% de gasolina natural; entonces son los catalizadores los que permiten mejorar su calidad y su cantidad (Cruz, 1997).

3.2.1 Mercado global de los catalizadores para refinar petróleo

La industria de los catalizadores se caracteriza por su alto grado de competitividad; las empresas de esta industria despliegan estrategias competitivas para permanecer, incursionar y ampliar su presencia dentro del mercado. El alto grado de competitividad de las empresas que participan en este mercado se debe principalmente a: i) la concentración de clientes y de proveedores, ii) la naturaleza de las innovaciones que determinan la frontera tecnológica, iii) las capacidades estratégicas que tienen las empresas multinacionales y iv) la contracción de la actividad en la industria (Aboites et al, 2004).

El mercado de los catalizadores a nivel mundial es bastante heterogéneo debido a la diversidad de industrias que a las que abastece y a las diferencias tecnológicas entre los competidores de la industria. En el año 2001 el mercado mundial de catalizadores alcanzó un nivel de ventas de US$ 10,000 millones (Aboites et al, 2004); se pronostica que la venta de catalizadores en Estados Unidos crecerá de US$ 2.7 billones hasta 3.2 billones para 2010, es decir a razón de 3.0 % anual (Oil & Gas J., 2006); el pronóstico de demanda de catalizadores a nivel mundial se estima que también crecerá a una tasa de 3.6 % anual para 2010 (Weirauch, 2007).

El mercado de catalizadores se clasifica en cinco segmentos: refinación, petroquímica, polimerización, química fina y farmacéutica, y finalmente medio ambiente; de 1997 a 2001 la tasa de crecimiento medio anual del segmento de industria química[60], fue de 14,6% la más grande de todos, después le siguió el segmento de medio ambiente con una tasa de 13.4, luego polimerización con una tasa de 8.4%, y finalmente refinación con una tasa de 3% (Prada, 2001).

Cuadro 3.1 Demanda de catalizadores para refinar petróleo, a nivel mundial y para América Latina en 2001 (porcentaje)

Proceso	*Mundial* [a]	*América Latina* [b]
FCC	34.5	48.5
Hidrotratamiento	31.4	22.4
Reformación	5.4	3.7
Hidrodesintegración	7.5	1.5
Otros [c]	21.3	23.9
Total	*100*	*100*

Fuente: Tomado de Aboites et al (2004), basado en:
[a] "Zirconium in catalysis", Chemical Week, Julio 24, 2002.
[b] Estudio de Mercado de corporaciones multinacionales de catalizadores, IMP 2002.
c Incluye: Isomerización, polimerización, eterificación, lubricantes, recuperación de azufre, producción de hidrogeno y purificación de gases.

Para 2001 la demanda mundial de catalizadores fue de US$ 10,259 millones en total, los catalizadores más demandados fueron los de la Industria química, le siguieron los del segmento de medio ambiente, en tercer lugar estuvieron los de refinación y en último lugar los de polimerización. La demanda de catalizadores para refinar petróleo en 2001 fue de US$ 2,300 millones, los catalizadores más demandados fueron los de FCC, le siguieron los de hidrotratamiento, luego los de reformación y los de hidrodesintegración, otros

[60] Incluye petroquímica, química fina y farmacéutica

catalizadores como los de isomerización, polimerización, lubricantes, recuperación de azufre, producción de hidrogeno y purificación de gas fueron los menos demandados; las regiones en donde más se demandaron los catalizadores de FCC fueron América Latina y Norte América[61], en el caso de los catalizadores de hidrotratamiento las regiones que más los demandó fueron las de Asia y Europa respectivamente, la mayor demanda de catalizadores de reformación se dio en las regiones de Medio Oriente & África y Europa, y para los catalizadores de hidrogenación Norte América y Medio Oriente & África fueron las regiones más demandantes (Prada, 2001).

Como ya se mencionó, los cambios en la legislación ambiental han ocasionado que se desarrollen innovaciones en los catalizadores, las empresas productoras han tenido que desarrollar actividades de I y D para producir catalizadores que cumplan con los nuevos estándares; lo cual ha tenido gran impacto en la industria de la refinación. Según el *White Paper* del NIST-ATP (1998) la investigación y desarrollo en catalizadores para la industria de refinación de petróleo ha llegado a considerarse de alto riesgo, y muchas investigaciones a largo plazo han tendido a detenerse debido a la baja rentabilidad de los productos y a que las refinerías requieren hacer grandes inversiones para cumplir los requerimientos ambientales.

La industria mundial de catalizadores está controlada por las compañías de Estados Unidos (53%), Europa (36%) y Japón (7%); los principales productos de estas empresas son: i) materias primas catalíticamente activas, tales como: metales, zeolitas, óxidos mixtos, entre otros; ii) Diseño y producción de catalizadores, iii) Distribución y comercialización a escala mundial (Aboites et al, 2004). Las compañías Engelhard, Johnson Matthey, Akzo Nobel, Süd-Chemie, Grace Davison y Synetix en 2001 controlaban el 52.6% del total del mercado de catalizadores a nivel mundial; las empresas como la mayor parte del mercado de los catalizadores de FCC, en 2001, fueron WR Grace y Engelhard, con 42.6% y 21.7% de participación respectivamente; para el mercado de los catalizadores de hidrotratamiento las de mayor participación fueron Criterion y Akzo Nobel, con 32.1% y 26.8% de participación respectivamente (Aboites et al, 2004). Actualmente Basfen, Johnson Matthey, Albemarle, Süd-Chemie, Grace Davison y Synetix son las compañías con mayor

[61] México se contabilizó dentro de la región de América Latina y no dentro de la región de Norte América.

participación en el mercado de catalizadores para refinar petróleo (Entrevista a personal del área de catálisis-Ecopetrol, Mayo de 2010).

La investigación y desarrollo tecnológico en la industria de la refinación de petróleo genera principalmente mejoras incrementales; la tecnología utilizada en los procesos de refinación evoluciona principalmente por la actualización y mejora en equipos, procesos y catalizadores; aunque la búsqueda, mediante investigación científica básica y aplicada, de nuevas y la expansión de las actuales fronteras tecnológicas es continua (Soria, 2004).

De acuerdo con Aboites et al (2004), las principales estrategias competitivas de las empresas productoras de catalizadores pueden ser clasificadas en seis grandes componentes: 1) Investigación y desarrollo de nuevos productos, 2) Diferenciación de producto, 3) Segmentación del mercado, 4) Reducción de costos, 5) Adquisiciones y fusiones y 6) Alianzas y acuerdos de cooperación.

3.3 Las empresas petroleras nacionales de interés y sus centros de investigación

A continuación se da una breve descripción de las petroleras nacionales que son analizadas en esta investigación, así como de sus respectivos centros de investigación.

3.3.1 Petróleo Brasileiro S.A.

En octubre de 1953 conforme a la Ley 2.004, se autorizó la constitución de Petróleo Brasileiro S.A. –Petrobras- para la realización de las actividades del sector del petróleo en Brasil en nombre del Gobierno Federal. Petrobras dio inicio a sus actividades con los activos recibidos del antiguo Consejo Nacional del Petróleo (CNP), que siguió ejerciendo su función fiscalizadora del sector. Las actividades volcadas a la exploración y producción de petróleo, así como las demás labores vinculadas al sector del crudo, gas natural y derivados, excepto la distribución mayorista y la comercialización de los productos a escala minorista en las estaciones de servicio fueron monopolio de Petrobras de 1954 a 1997; durante ese período Petrobras ocupaba la posición de líder en la comercialización de derivados en Brasil (Petrobras, 2010).

En 1995 el Congreso brasileño le quitó a Petrobras el monopolio de la búsqueda, extracción, refinamiento y transporte del combustible, y se creó la Agencia Nacional del Petróleo (ANP), entidad encargada de regular y fiscalizar la nueva etapa de apertura de Petrobras; la transformación de monopolio estatal a un mercado abierto ocurrió durante el gobierno del presidente Fernando Henrique Cardoso (Lanación.com, 1998). A partir de 1997 se permitió el ingreso de empresas extranjeras para explorar y explotar yacimientos en Brasil y en el 2000 el Gobierno vendió acciones al mercado internacional (Nextfuel.com, 2008). En 2003, en el año en que celebró sus 50 años, Petrobras dobló su producción diaria de crudo y gas natural al superar los 2 millones de barriles, en Brasil y fuera del país. El 21 de abril de 2006 el Presidente Luiz Inácio Lula da Silva dio inicio a la actividad de producción de la plataforma P-50, en el campo Albacora Leste (Cuenca de Campos), lo que permitió a Brasil alcanzar su autosuficiencia en petróleo (Petrobras, 2010).

Actualmente Petrobras tiene presencia en 27 países; logró obtener en 2007 la clasificación de 7ª mayor empresa de petróleo del mundo con acciones negociadas en bolsas, según la publicación Petroleum Intelligence Weekly (PIW), la cual divulga cada año el ranking de las 50 mayores y más importantes empresas petroleras. Petrobras es la doceava empresa más grande dentro de la industria de la refinación de petróleo, y la número 34 dentro de las 500 empresas más grandes del mundo (Cnnmoney.com, 2009).

Para finales de 2007 se dio inicio a las obras de la Refinería Abreu, en Recife (estado de Pernambuco), y se inauguró la nueva refinería, en el estado de Sergipe, esta refinería es la primera en procesar el 100% de crudo pesado. A principios de 2008 Petrobras fue reconocida como la petrolera más sostenible del mundo, de acuerdo con la encuesta coordinada por Management & Excellence (M&E); la empresa es considerada referencia mundial en ética y sostenibilidad (Petrobras, 2010).

A finales de enero de 2009 Petrobras anunció su plan de inversiones para el período 2009-2013, con una previsión de US$ 174,400 millones, ese valor representó un crecimiento de 55% en relación con el plan del período 2008-2012. Petrobras planea invertir 47,9 mil millones para nuevos proyectos, incluido el pre-sal[62]. Según Petrobras, las

[62] El pre-sal es la capa geológica formada antes de una extensa capa de sal, que puede sobrepasar los dos mil metros de espesor (Petroleo.com, 2009). Brasil ha encontrado nuevas reservas de petróleo en el pre-sal, por eso una parte considerable de su inversión se destina a exploración de esa capa.

pruebas preliminares realizadas en cuatro áreas del pre-sal (tres en la Cuenca de Santos y una en la de Campos) indican volúmenes recuperables de 10.600 a 16.000 millones de barriles equivalentes (crudo y gas). En caso de que este volumen sea confirmado, tras la evaluación de los descubrimientos, las reservas brasileñas de hidrocarburos se duplicarían (Petróleo.com, 2009). Se calcula que para 2011 la producción brasileña de petróleo llegará a 2,43 millones de barriles/día, con lo que podría llegar al primer lugar a nivel latinoamericano, superando a México y Venezuela. La meta de producción de la compañía en 2013 será de 3,6 millones de barriles de petróleo y de gas por día, de los cuales 3,3 millones serán extraídos en Brasil. En 2020, la producción total debe subir a 5,1 millones en Brasil. Este volumen es superior al producido actualmente por Exxon, la mayor petrolera de capital abierto del planeta (Pacheco, 2009).

3.3.1.2 Centro de Investigación y Desarrollo CENPES

En 1955 se creó el Centro de Perfeccionamiento e Investigaciones de Petróleo (Cenap), órgano de Petrobras dedicado a la formación y al desarrollo de recursos humanos, y embrión del actual Cenpes. En 1963, el Consejo de Administración de Petrobras decidió crear un centro de investigaciones orientado exclusivamente a las actividades de investigación y desarrollo; gradualmente se fueron substituyendo los técnicos extranjeros por profesionales brasileños. En 1973 el Cenap es rebautizado como Cenpes y pasó a actuar en la adaptación de las tecnologías importadas a las condiciones geológicas, ambientales, de mercado y de materia prima nacionales. La expansión incentivó la transferencia del Centro a una área mayor cedida por la Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ) en Ilha do Fundão, donde está instalado hasta hoy, en un terreno plano y dentro de la ciudad universitaria, facilitando el intercambio científico. En 1975 ya instalado en su nueva sede el Cenpes fue nuevamente rebautizado como Centro de Investigaciones y Desarrollo Leopoldo Américo Miguez de Mello, en homenaje al gran incentivador de las actividades de investigación en la Compañía, fallecido en aquel año (Petrobras, 2010).

En 1976 las actividades de Ingeniería Básica, hasta entonces dispersas en la Compañía, se integran al Cenpes, complementando así a las áreas de investigación y desarrollo. Desde entonces, el Centro viene contribuyendo con la adaptación de las

tecnologías a la realidad brasileña y también respondiendo a las demandas tecnológicas, sin prescindir de la utilización de conocimientos de otros países. En 1985 se creó la División de Catalizadores en el Cenpes para dar soporte al desarrollo de productos y a la producción de catalizadores de FCC; en ese mismo año se firmó el acuerdo que posibilitaría implantar la Fábrica Carioca de Catalizadores, en alianza con Albemarle. En 2002 Petrobras pasó a destinar el 1% de sus ingresos brutos al Cenpes, convirtiéndose en una de las empresas que más contribuyen con la investigación y el desarrollo en el mundo. A finales de 2004 se aprobó la licitación para la ampliación del Cenpes en un espacio de 183 mil metros cuadrados, que también se ubica en Ilha do Fundão, en Rio de Janeiro; gracias al proyecto de ampliación, el Cenpes tendrá 227 laboratorios para investigaciones, en 23 edificios de laboratorios; estos nuevos laboratorios son construidos pensando en la ecoeficiencia y sustentabilidad[63] (Petrobras, 2010).

Las áreas de actuación del Cenpes son: Innovación en combustibles, recuperación avanzada de petróleo, medio ambiente, producción en aguas profundas, transporte, fronteras exploratorias, gas natural, energías renovables, petróleos pesados, optimización y confiabilidad, tecnologías estratégicas de refinación, modelaje de cuencas, ingeniería básica, cambios climáticos y pre-sal (Petrobras, 2010).

3.3.2 Empresa Colombiana de Petróleos

La Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos, esta empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo *La Cira-Infantas* en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá. Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación; en 1961 asumió el manejo directo de la refinería de

[63] Está pensado para hacer un menor uso de energía eléctrica, harán uso de luz solar y ventilación natural; contará además con un sistema de reaprovechamiento de aguas; las estructuras son desmontables y de acero, con sistemas modulares previamente programados para que no haya interrupciones, ni desechos (Petrobras, 2010)

Barrancabermeja, trece años después compró la refinería de Cartagena, construida por Intercol en 1956. En 1970 adoptó su primer estatuto orgánico que ratificó su naturaleza de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, cuya vigilancia fiscal es ejercida por la Contraloría General de la República (Ecopetrol, 2010).

En septiembre de 1983 se dio el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1,100 millones de millones de barriles; gracias a este campo Ecopetrol inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser en un país exportador de petróleo. En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company. En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos. Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de Junio de 2003 se modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y se convirtió en Ecopetrol S.A., una sociedad de economía mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, vinculada al Ministerio de Minas y Energía; con la transformación la Compañía se liberó de las funciones de Estado como administrador del recurso petrolero y para realizar esta función se creó la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). A partir de 2003, Ecopetrol S.A. inició una era en la que, con mayor autonomía, ha acelerado sus actividades de exploración, su capacidad y a mejorado su competitividad en el mercado petrolero mundial (Ecopetrol, 2010).

La inversión extranjera hacia el sector aumentó de US$ 495 millones, en 2004, a US$ 3,409 millones para 2008; esto refleja que la política de la ANH, de estimular inversiones en exploración, está dando resultados. La transformación de Ecopetrol permitió que pasara de perforar directamente un pozo en 2004, a 15 pozos en 2008. En el mismo periodo, pasó de producir 367.000 barriles diarios, a 447.000 en 2008. La producción petrolera de Colombia están en manos de Ecopetrol, con el 58% y otras asociadas con el 42%; dentro de los nuevos jugadores hay empresas de países como la India (Reliance), Argentina (Tecpecol), Estados Unidos (Columbus) y Canadá (Pacific Rubiales, Canacol y

Petrominerales); además de Occidental BP y Chevron Texaco, entre otros (Dinero.com, 2009).

Actualmente, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de $5,25 billones registrada en 2009 y la principal compañía petrolera en Colombia; por su tamaño, pertenece al grupo de las 40 petroleras más grandes del mundo (Ecopetrol, 2010) y es una de las cinco principales productoras de petróleo de Latinoamérica. Ecopetrol ha promulgado una serie de reformas normativas para que el sector sea más atractivo para los inversores extranjeros (EIA, 2010). A finales de 2009 Colombia empezó a experimentar un boom petrolero que le permitirá producir un millón de barriles diarios en 2015, y generará una contribución alrededor de los US$8.000 millones a la balanza cambiaria para ese año, si los precios del petróleo se mantienen en los niveles actuales (Dinero.com, 2009).

3.3.2.1 Instituto Colombiano del Petróleo ICP

El 11 de junio de 1985 se creó el Instituto Colombiano del Petróleo como un centro de investigación y desarrollo para la industria petrolera, perteneciente a Ecopetrol S.A.; resultado de una política visionaria nacional que consideró el desarrollo tecnológico como un elemento esencial para obtener mayor productividad en los procesos relacionados con búsqueda, producción, transporte y refinación de hidrocarburos. El ICP tiene sede en Piedecuesta, Santander; su principal objetivo es brindar a Ecopetrol soluciones tecnológicas innovadoras y de calidad, que le generan valor agregado a la operación. La infraestructura del ICP es una de las más modernas y completas del país, cuenta con 18 laboratorios altamente especializados y 29 plantas piloto, donde se realiza la simulación de los procesos a mayor escala, previamente desarrollados en los laboratorios; dispone de un área de 30 hectáreas, con 35,014 m^2 construidos (Ecopetrol, 2010).

Ecopetrol cuenta con el ICP para apoyar la industria petrolera nacional al aplicar en toda su cadena productiva las soluciones tecnológicas desarrolladas por el Instituto de manera conjunta con las áreas operativas de Ecopetrol. El ICP trabaja en nueve áreas tecnológicas que incluyen cinco líneas de investigación aplicadas a la cadena de valor (exploración, producción, refinación y petroquímica, transporte, suministro y mercadeo);

tienen productos para las áreas de *Upstream*[64] y *Downstream*[65]. Ecopetrol a través del ICP ha desarrollado más de 115 productos tecnológicos que se materializan en métodos, procesos, productos, equipos, herramientas y software, entre otros; el ICP ofrece servicios para Ecopetrol y para el público externo. Dentro del organigrama de la compañía, el instituto se ubica al interior de la vicepresidencia de servicios y tecnología, siendo un área transversal de negocios (Ecopetrol, 2010).

El ICP ha desarrollado en su Centro de Información Técnica (CIT) la Revista *Ciencia, Tecnología y Futuro* (CT&F); se trata de una publicación de circulación anual, arbitrada por expertos internacionales, cuyo objetivo es difundir los logros de las investigaciones científicas y los desarrollos tecnológicos de Ecopetrol, al igual que las investigaciones de otras instituciones en las áreas del petróleo, del gas y de las fuentes alternas de energía. Ecopetrol, por medio del ICP, realiza programas de investigación y desarrollo en convenios con grandes universidades a nivel mundial y la mayor parte de las universidades nacionales, en temas propios de la industria; en la actualidad mantiene 30 convenios de cooperación tecnológica que le permiten ampliar su campo de acción en materia de investigación y desarrollo (Ecopetrol, 2010).

El área de catálisis del ICP ofrece servicios técnicos en las áreas de caracterización físico-química, evaluación, selección de catalizadores y pruebas en planta piloto de cracking, y apoya los proyectos de investigación y desarrollo relacionados con procesos de transformación catalítica; su principal área de trabajo son los catalizadores de ruptura catalítica utilizados en FCC. El área de catálisis realiza, principalmente, las actividades de caracterización y evaluación de catalizadores (Ecopetrol, 2010).

3.3.3 Petróleos Mexicanos

En 1901 se expidió la Ley del Petróleo con la que se logró impulsar la actividad petrolera del país, otorgando amplias facilidades a los inversionistas extranjeros; en 1912 se expidió

[64] Para más información véase la página web:
http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Portafolio%20ICP/portafolio/centro/index.htm
[65] Para más información véase la página web:
http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Portafolio%20ICP/portafolio/centro/index.htm

un decreto para establecer un impuesto especial del timbre sobre la producción petrolera y se ordenó que se efectuará un registro de las compañías que operaban en el país, las cuales controlaban el 95% del negocio. A partir de 1917 empezó el control directo de la Nación sobre todas las riquezas del subsuelo y empezó el establecimiento de medidas para recuperar el control de la industria, lo cual ocasionó protesta y resistencia por parte de las empresas extranjeras. Para 1920 había 80 empresas productoras de petróleo en México, y 17 exportadoras; el 92% de su capital era anglo-norteamericano. Para 1934 se creó Petróleos de México, A. C., como una compañía encargada de fomentar la inversión nacional en la industria petrolera (Pemex, 2008).

El 7 de Junio de 1938 se creó Petróleos Mexicanos como organismo encargado de explotar y administrar los hidrocarburos en beneficio del país; en la década de los setentas se le dio un impulso a la industria de la refinación y se experimentó un auge en la industria petrolera, producto del descubrimiento de diversos yacimientos petroleros. En 1978 se comenzó la explotación de uno de los yacimientos marinos más grandes del mundo, *Cantarell*; y un año más adelante se confirmó el descubrimiento del segundo yacimiento más importante del país, *El Activo Ku-Maalob-Zaap*, que es el vigésimo tercero a nivel mundial, en términos de reservas, que equivalen a 4,786 millones de barriles de crudo. En 1992 se expidió una nueva Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios donde se establecieron los lineamientos básicos para definir las atribuciones de Petróleos Mexicanos en su carácter de órgano descentralizado de la Administración Pública Federal, responsable de la conducción de la industria petrolera nacional; esta Ley determinó la creación de un órgano Corporativo y cuatro Organismos Subsidiarios, que es la estructura orgánica bajo la cual actualmente opera actualmente Pemex; dichos organismos son: Pemex Exploración y Producción (PEP), Pemex Refinación (PXR), Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB) y Pemex Petroquímica (PPQ) (Pemex, 2008).

Petróleos Mexicanos se convirtió en 2006 en la empresa más grande de México y una de las petroleras más grandes del mundo, tanto en términos de activos como de sus ingresos. El sector petrolero es un componente crucial de la economía de México: si bien su importancia relativa en la economía mexicana en general ha disminuido, el sector petrolero aún genera más del 15% de los ingresos por exportación. Cerca del 40 por ciento del total de los ingresos del gobierno provienen de la industria del petróleo (incluidos los impuestos

y los pagos directos de Pemex). Por lo tanto, cualquier disminución de la producción de Pemex tiene un efecto directo en el equilibrio fiscal general del país[66].

En 2009 Pemex Exploración y Producción (PEP) dio un giro importante para incursionar más agresivamente en la exploración y explotación en aguas profundas del golfo de México; la compañía descubrió reservas totales por 2,4 billones de pies cúbicos de gas y 36 millones de barriles de crudo equivalente. México planea con su reforma energética atraer a las compañías privadas de crudo para trabajar con Pemex en forma de contratistas de servicios en aguas profundas, lo cual permitirá la implementación de nueva tecnología (Pacheco, 2009).

Luego de casi seis años consecutivos de ritmos de producción ascendentes, Pemex pronosticó una reducción de 9,5% en el período enero-diciembre de 2010, debido fundamentalmente a la falta de nuevos descubrimientos que permitan compensar la declinación de sus actuales campos en explotación. Otro problema que enfrenta la industria petrolera mexicana es la pobre producción que obtuvo del yacimiento de *Chicontepec* en los últimos cuatro años, debido al incorrecto método de explotación utilizado por Pemex, lo que ocasionó que el proyecto se detuviera. Según la revista Fortune, Pemex en 2009 se ubicó como la 31 empresa más grande del mundo, para 2008 había ocupado el lugar 42 (Cnnmoney.com, 2009).

3.3.3.1 Instituto Mexicano del Petróleo

Como consecuencia de la transformación industrial del país y de la necesidad de incrementar la tecnología relacionada con el desarrollo de la industria petrolera, petroquímica básica, petroquímica derivada y química, el 23 de agosto de 1965 fue creado el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). El IMP es el centro de investigación de México dedicado al área petrolera, sus actuales objetivos son la investigación y desarrollo tecnológico, la ingeniería y servicios técnicos y la capacitación, así como el otorgamiento de grados académicos, la comercialización de los resultados de la investigación y desarrollo tecnológico y la suscripción de alianzas estratégicas y tecnológicas.

[66] Tomado de la página http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/Mexico/Background.html, consultado el 20 de Mayo de 2009

El IMP nació para fomentar la investigación petrolera y formar recursos humanos que impulsen el desarrollo de tecnología propia en el sector petrolero del país; el IMP se creó como un organismo descentralizado de interés público y preponderantemente científico, técnico, educativo y cultural, con personalidad jurídica y patrimonio propio, independiente legalmente de Pemex; debido a esto, la producción de conocimiento tecnológico para la industria del petróleo no se origina internamente en Pemex sino que surge de la transferencia externa, realizada por el IMP. El IMP se creó, básicamente, como una organización que proporcionaría servicios tecnológicos y realizaría investigación y desarrollo tecnológico para PEMEX (Soria, 2004).

El IMP es una de las organizaciones más importantes de México por su capital humano, capacidades tecnológicas, infraestructura y por las redes institucionales, relacionadas con la innovación, que ha establecido dentro de la industria petrolera del país y fuera de ella. Conjuntamente el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y el IMP estructuran el sector energía de México; el peso del petróleo como fuente de energía es mayor que el de la energía eléctrica y la nuclear, por eso el IMP también tiene un peso mayor a los otros institutos; en correspondencia, los recursos financieros del IMP son un tanto mayores que los de las otras instituciones, utilizando alrededor del 9% del gasto federal de Ciencia y Tecnología, mientras que el IIE ejerce 3% y el ININ el 1% (Aboites et al, 2004).

Las ramas de actividad del instituto, definidas en 1966, fueron: la investigación en geología, geofísica, ingeniería petrolera, transporte, distribución de hidrocarburos, economía petrolera, química, refinación, petroquímica, diseño de equipo mecánico, electrónico, maquinaria y electrónica aplicada. En general los objetivos institucionales no se han modificado, sino que se han adicionado otros objetivos, como: formación de investigadores, difusión de desarrollos científicos y aplicación técnica petrolera, proyectos de nuevas instalaciones industriales, prácticas estudiantiles, capacitación profesional, capacitación obrera, técnica y administrativa, formar maestros, doctores e investigadores, comercialización de productos y servicios resultado de la investigación y el desarrollo tecnológico, entre otros.

Durante la primera etapa del IMP, 1965-1973, se definieron los campos disciplinarios específicos de las ciencias básicas que servirían como insumos para la

investigación aplicada en problemas tecnológicos de la industria del petróleo; durante la segunda etapa, 1974-1998, los objetivos del IMP estuvieron fuertemente direccionados hacia los objetivos de Pemex, esto permitió la creación de una sinergia a partir de la cual los dos agentes pudieron ejecutar importantes proyectos de investigación básica y aplicada (Soria, 2004).

El IMP durante el periodo 1998-2007 se desvinculó un tanto de Pemex; esto se debió principalmente a que el IMP no contaba con las capacidades necesarias para satisfacer las demandas de Pemex, además de que los servicios que prestaba el IMP a Pemex eran más costosos que los ofrecidos por otras compañías extranjeras; esto llevó a Pemex a buscar en el mercado otros proveedores que se acoplaran mejor a sus necesidades y presupuestos. A partir de 2007 se empezó a reforzar el vínculo entre Pemex y el IMP; con el propósito de que el IMP se integre a los objetivos y grandes proyectos de Pemex y se vuelva a crear una sinergia que sea productiva para las dos instituciones; México debe recuperar la década que se perdió debido a la desvinculación entre Pemex y el IMP.

El área de catálisis es una parte importante para el IMP y para el país, ya que es un gran consumidor de productos refinados; dentro del área se trabaja sobre: *i)* proyectos de investigación sobre catalizadores y procesos asociados, *ii)* productos y servicios relacionados con catálisis, y *iii)* la organización y asignación de investigadores del área y demás personal asociado al ámbito de la investigación (Aboites et al, 2004).

3.4 Principales hallazgos

A continuación se enlistan los hallazgos más importantes de este capítulo:

i. El petróleo es el mayor proveedor de energía primaria consumida en el mundo, en promedio aporta el 35.7% del total. A finales de 2006 las reservas mundiales de petróleo ascendieron a 1,208.2 miles de millones de barriles (mmb); el 74.9% de las reservas se encuentra en los países miembros de la OPEP, el 6.6% en los países pertenecientes a la OCDE, el 10.6% en los países de la ex Unión Soviética y el 7.9% en el resto del mundo. Los seis países con las mayores reservas en 2009 fueron: Arabia Saudita, Canadá, Irán, Irak, Kuwait y en el sexto lugar se encuentra un país

latinoamericano, Venezuela. Los cinco principales productores de petróleo crudo para el 2004 fueron: Arabia Saudita, Rusia, Estados Unidos, Irán y México; En 2008 los primeros cuatro lugares los siguen ocupando los mismos países, pero en la quinta posición ahora se encuentra China, que desplazó a México al sexto lugar. Los cinco mayores consumidores en 2008 fueron: Estados Unidos, China, Japón, India y Rusia.

ii. El intercambio de petróleo crudo tiene como regiones exportadoras más importantes a Medio Oriente, Eurasia y África, y como principales regiones importadoras a Norte América, Asia & Oceanía y Europa. Las mayores importadoras de petróleo refinado son Europa, Asia & Oceanía y Norte América; las mayores exportadoras de petróleo refinado son: Medio Oriente, Europa y Asia & Oceanía. A nivel latinoamericano, México, Brasil, Venezuela, Argentina y Colombia son los mayores productores de crudo; y los mayores consumidores de petrolíferos son: Brasil, México, Venezuela, Argentina, Chile y Colombia.

iii. El proceso de refinación más utilizado, después de la destilación, es el craqueo catalítico, le sigue el de reformación y finalmente craqueo térmico; los países que destilaron la mayor cantidad de petróleo en 2009 fueron: Estados Unidos, China, Rusia, Japón y Corea del Sur; los que más utilizaron el proceso de craqueo catalítico fueron: Estados Unidos, Japón, China, Brasil y Canadá. A nivel latinoamericano los catalizadores más demandados son los de hidrotratamiento, le siguen los de FCC, luego los de reformación y los de hidrodesintegración, otros catalizadores como los de isomerización, polimerización, lubricantes, recuperación de azufre, producción de hidrogeno y purificación de gas fueron los menos demandados.

4. CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DE BRASIL, COLOMBIA Y MÉXICO EN LA PRODUCCIÓN DE CATALIZADORES PARA REFINAR PETRÓLEO

El objetivo de este capítulo es presentar las capacidades tecnológicas que tienen Brasil, Colombia y México en la producción de catalizadores para refinar petróleo; para hacer esta presentación se dividió el proceso productivo en tres etapas: 1) Demanda del catalizador, para la medición de las capacidades en esta etapa se tendrá en cuenta el consumo, la producción y reservas de petróleo, la capacidad instalada de las refinerías y balanza comercial petrolera de cada país; ii) Investigación y Desarrollo (I+D), la medición se hará de acuerdo al gasto en I+D, el capital humano empleado, la infraestructura disponible para las actividades de I+D y la producción de nuevo conocimiento (medido a través de las patentes); y iii) Escalamiento, Producción y Venta, para medir las capacidades de esta etapa se tendrá en cuenta la capacidad para realizar prueba piloto y prueba industrial, la existencia de empresas nacionales productoras de catalizadores, el número de catalizadores desarrollados y usados y las alianzas vigentes con corporaciones multinacionales, productoras de catalizadores para refinar petróleo.

El capítulo está dividido en cuatro apartados, los tres primeros son cada uno para uno de los países bajo estudio; en cada apartado se presentaran los indicadores para todo el proceso de producción, de acuerdo a las tres fases mencionadas anteriormente. El primer apartado está destinado a las capacidades tecnológicas de Brasil; el segundo a las de Colombia; y el último apartado corresponde a las capacidades de México. Finalmente, en el último apartado se presentan los principales hallazgos del capítulo.

4.1 Brasil

A continuación se presentan las capacidades tecnológicas que tiene Brasil en cada una de las fases del proceso de producción de catalizadores para refinar petróleo.

4.1.1 Demanda del catalizador

Esta es la primera fase del proceso productivo; en esta fase se exponen las tendencias de consumo, producción y reservas de crudo del país, lo cual determina las estrategias que debe seguir para mantener una relación adecuada de producción/consumo y un nivel de reservas adecuado, así como una balanza comercial apropiada. Esta etapa permite identificar algunas de las características del crudo que se tiene en cada país, lo cual también da señales de las necesidades en cuanto a catalizadores. Parte de las capacidades tecnológicas de una organización, en este caso Petrobras, están relacionadas con sus instalaciones, sus equipos y las inversiones físicas que se realizan (Nelson, 1981), en este caso se expondrá la capacidad instalada que tiene en sus refinerías.

4.1.1.1 Consumo, producción y reservas nacionales de petróleo

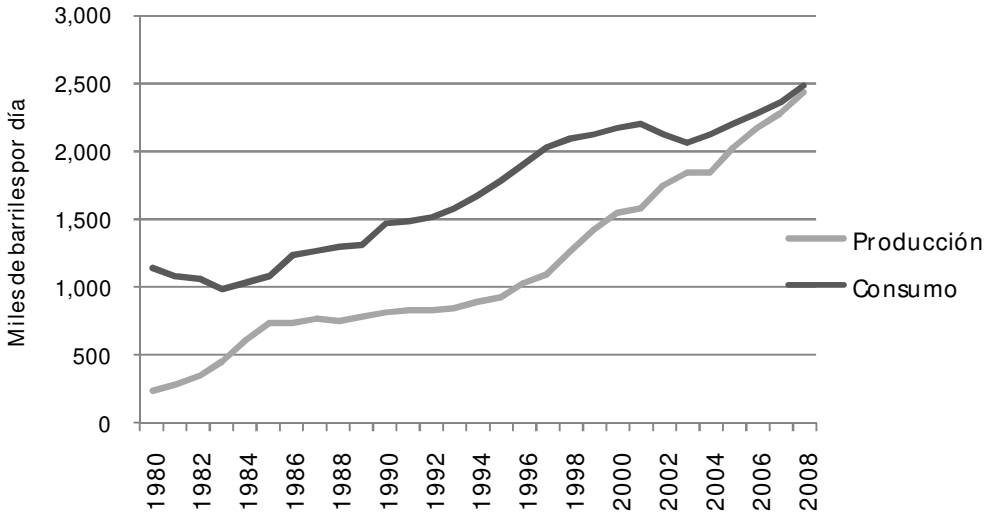
En Brasil la producción de petróleo, desde 1980 hasta la fecha, ha sido menor que su consumo, esto se refleja en la figura 4.1, donde se ve como la línea de consumo de petrolíferos está por encima de la correspondiente a la producción de petróleo; la diferencia entre consumo y producción ha sido en promedio de 552.54 mbd, como se verá más adelante esto se refleja en la balanza comercial petrolera del país. A partir del año 2000 se presenta una disminución de la brecha entre consumo y producción; la trayectoria de Petrobras para llegar a la autosuficiencia se caracteriza por sus elevadas inversiones en avances tecnológicos y por su capacidad de perforación en aguas profundas (Petrobras, 2010), así como su capacidad para procesar crudos más pesados; es claro que un país autosuficiente es menos vulnerable a las fluctuaciones del mercado internacional de petróleo, por esto es importante para Brasil lograr dicho estado. El 75% de la producción de petróleo en Brasil es petróleo crudo, el 25% restante son líquidos de gas natural, como etano, propano, butano y otros (EIA, 2010).

Producción y consumo han presentado una tendencia creciente durante el periodo de análisis (1980-2009), ubicándose alrededor de 2,450 mbd; es de gran importancia para Brasil haber disminuido la brecha y empezar ahora a repuntar a nivel latinoamericano y mundial dentro de la industria del petróleo. Gracias a los cambios que ha experimentado Brasil en su industria ahora se posiciona en el lugar número doce de los mayores

productores de petróleo a nivel mundial, y el tercero a nivel latinoamericano; asimismo es el séptimo mayor consumidor de petróleo del mundo y el primero en Latinoamérica. En los años 1990, Petrobras conquistó la posición de mayor productor del mundo en aguas profundas, con cerca del 65% del área de sus bloques de exploración offshore ubicado a profundidades de más de 400 metros (Petrobras, 2010).

Las reservas de petróleo de Brasil al igual que su producción han ido incrementado con el tiempo, hasta finales del siglo XX sus reservas fueron en promedio de 3 billones de barriles, durante la primera década de este nuevo siglo sus reservas han estado alrededor de 10 billones de barriles, esto quiere decir que sus reservas se han triplicado durante la última década, parte de este incremento en las reservas se debe al descubrimiento de los yacimientos pre-sal (Petróleo.com, 2009). Brasil se está posicionando como uno de los países más importantes dentro de la industria durante este nuevo siglo.

Figura 4.1 Brasil, Producción de petróleo vs consumo de petrolíferos (1980-2008)



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA (2010).

La demanda de productos petrolíferos se ha incrementado en Brasil conforme su economía se industrializa y su riqueza aumenta, además se ha dado un incremento de la demanda de transporte, lo que deriva en un aumento en el consumo de gasolinas y derivados intermedios (SENER, 2007), y además un incremento en la demanda de catalizadores.

4.1.1.2 Capacidad instalada para el procesamiento de petróleo (Refinerías)

La capacidad instalada para el procesamiento del petróleo está relacionada con el número de refinerías que tiene Petrobras, y con la capacidad de transformación que tienen dichas refinerías. Petrobras tiene en total 15 refinerías de petróleo, 11 de ellas se encuentran ubicadas en estados brasileños, 1 en Estados Unidos, 2 en Argentina y 1 en una isla de Japón. En el cuadro 4.1 se puede observar la capacidad instalada que tiene cada refinería, así como el volumen que procesa cada una de estas, para el año 2008.

Cuadro 4.1 Brasil, Capacidad instalada y volumen procesado por refinería (2008)

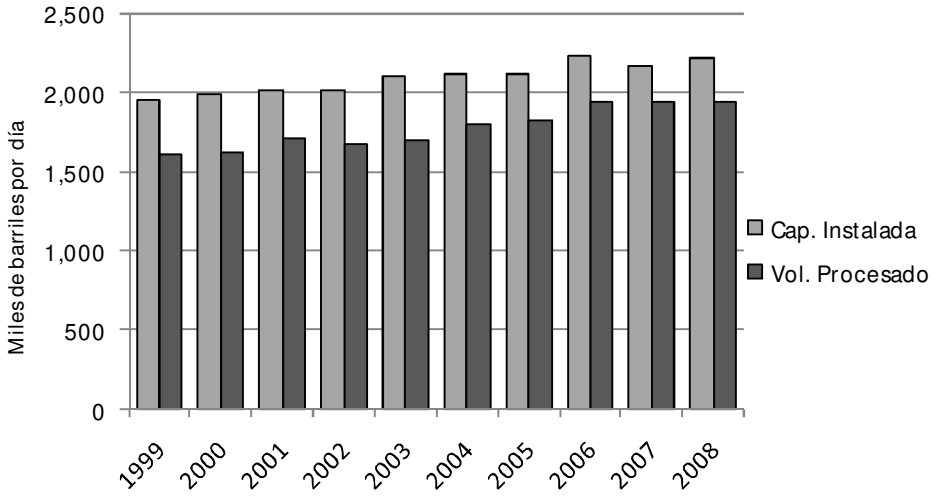
Refinerías	*Capacidad Instalada (mbd)*	*Volumen Procesado (mbd)*	*Utilización (%)*
Paulínia - Replan (SP)	365	324	89
Landulpho Alves - Rlam (BA)	279	254	91
Duque de Caxias -Reduc (RJ)	242	256	106
Henrique Lage - Revap (SP)	251	205	82
Alberto Pasqualini - Refap (RS)	189	142	75
Pres. Getúlio Vargas - Repar (PR)	189	183	97
Pres. Bernardes - RPBC (SP)	170	168	99
Gabriel Passos - Regap (MG)	151	143	95
Manaus - Reman (AM)	46	39	85
Capuava - Recap (SP)	53	45	85
Fortaleza - Lubnor (CE)	7	6	86
Pasadena - Estados Unidos	100	57	57
Ricardo Eliçabe - Argentina	31	29	95
San Lorenzo - Argentina	50	43	86
Okinawa - Japón	100	43	43
Total	*2,223*	*1,937*	*85*

Fuente: Tomado de Petrobras (2009).

Las refinerías son construidas de acuerdo a las características del crudo que van a procesar; en este aspecto se observa que Petrobras tiene una gran capacidad tecnológica porque tienen en marcha 15 refinerías en total, las cuales procesan en promedio 1,937 miles de barriles de petróleo por día, es decir casi el 80% de su consumo diario. El consumo de catalizadores para refinar petróleo está en función de la capacidad para refinar petróleo,

Petrobras refina un alto volumen de petróleo y por tanto demanda una gran cantidad de catalizadores. Como lo señala Figueiredo (2002), la capacidad tecnológica está representada por los recursos necesarios para generar y gestionar mejoras en los procesos y la organización de producción, productos, equipos y proyectos de ingeniería; desde este punto de vista Petrobras ha desarrollado capacidades tecnológicas para optimizar sus refinerías existentes y construir nuevas refinerías para cubrir la demanda nacional e incrementar sus exportaciones.

Figura 4.2 Brasil, Histórico de capacidad instalada vs. volumen procesado en las refinerías (1999-2008)



Fuente: Tomado de Petrobras (2009).

A partir de la figura 4.2 se observa que las refinerías de Petrobras se han utilizado aproximadamente en un 85%, esto quiere decir que hay un 15% de la capacidad instalada que se pierde porque no es usada o por mantenimientos en las refinerías; de acuerdo con los niveles de producción de crudo de Petrobras para los últimos años se esperaría que aumente el porcentaje de utilización de las refinerías. Petrobras sigue preparándose para aumentar su capacidad instalada y para esto tiene planeado el inicio de operaciones en la refinería de Pernambuco en 2011y en el Complejo Petroquímico de Río de Janeiro en 2012 (Petroleo.com, 2009); para mantener un equilibrio entre la capacidad de refinación y el crecimiento de la producción de petróleo Petrobras invertirá US$ 3,400 millones en 2011

(Plan estratégico 2020 Petrobras, 2007). Cabe señalar que las refinerías brasileñas consumen aproximadamente 30 mil toneladas de catalizadores por año (FCCSA, 2010).

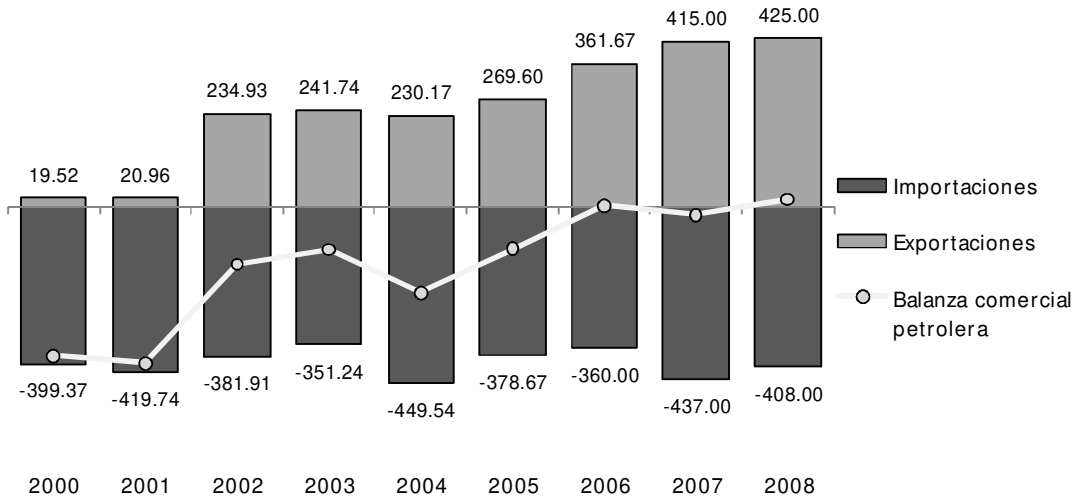
Aproximadamente el 60% del petróleo procesado por Petrobras proviene de los campos brasileños, el 13.2% es importado de África, el 12.3% proviene de la tierra brasileña, el 6.2% es importado de la región de Medio Oriente, el 5% procede de otras fuentes en alta mar, el 2.5% es importado de la región de Centro & Sur América, el 0.4% es importado de Australia y otro 0.4% restante proviene de otras fuentes brasileñas; por lo tanto el 77.8% del petróleo procesado en las refinerías de Petrobras es de origen brasileño, el otro 22.2% proviene de las importaciones. En 2008 el 39% de la producción brasileña de derivados del petróleo fue de Diesel, el 19% de gasolina, el 14% de aceite combustible, el 11% de Nafta y el 17% restante fue de otros derivados (Petrobras, 2009).

4.1.1.3 Balanza comercial petrolera

La balanza comercial petrolera se calcula restando de las exportaciones de petróleo las importaciones; a continuación en las figuras 4.3 y 4.4 se exponen las balanzas comerciales para el petróleo y para sus derivados en Brasil. De acuerdo con Lall (1993), las exportaciones de producto, en este caso de petróleo, son uno de los indicadores que se pueden utilizar para medir las capacidades tecnológicas; en esta investigación se analizan tanto las exportaciones como las importaciones.

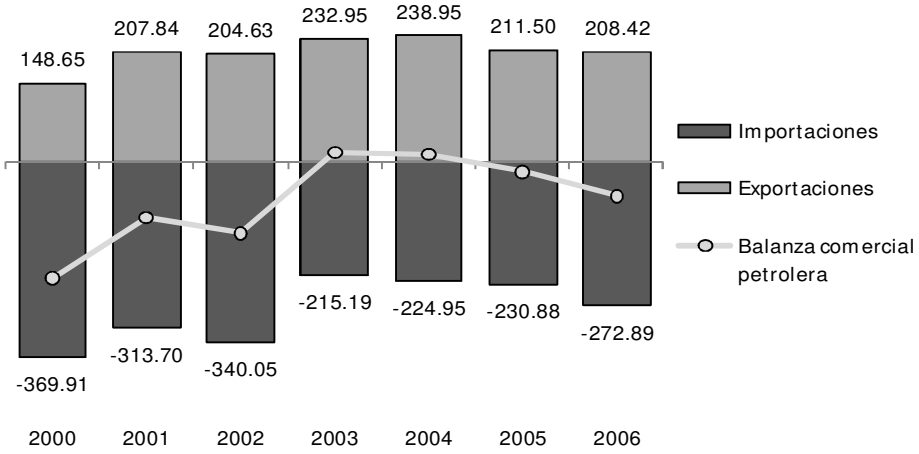
La balanza comercial brasileña de petróleo refleja que durante los primeros años del siglo XXI las importaciones eran mucho más grandes que las exportaciones, esto llevaba a una balanza negativa. A partir de 2004 se observa que la tendencia cambió, sus exportaciones empiezan a crecer un poco más y sus importaciones comienzan a disminuir, esto es el reflejo de los nuevos yacimientos encontrados por Petrobras y de los esfuerzos por tratar crudos más pesados que se ubican en el pre-sal. Para 2008 la balanza comercial es positiva lo que muestra el resultado de los objetivos de Petrobras por ser autosustentable en cuanto a producción de petróleo (Véase la figura 4.3).

Figura 4.3 Brasil, Balanza comercial de petróleo (2000-2008), miles de barriles por día



Fuente: Elaboración propia a partir de EIA (2010).

Figura 4.4 Brasil, Balanza comercial de derivados de petróleo (2000-2006), miles de barriles por día



Fuente: Elaboración propia a partir de EIA (2010).

La balanza comercial de derivados del petróleo muestra un comportamiento un tanto similar a la balanza del petróleo, dado que hay una balanza negativa durante los primeros años del siglo XXI, aunque su recuperación se da desde 2002, a diferencia de la del

petróleo que empieza en 2004. Las exportaciones de derivados de petróleo han tenido un comportamiento más estable aunque son menores que las de petróleo; las importaciones se redujeron hasta 2005, pero a partir del 2006 han tendido a crecer con lo cual han causado que la balanza vuelva a ser negativa. Este cambio en la balanza puede ser causado por el incremento que se da en el consumo de productos refinados, que es mayor al incremento en la producción (Véase la figura 4.4).

4.1.2 Investigación y Desarrollo

Esta segunda fase del proceso productivo de los catalizadores es una de las más importantes en todo el proceso porque aquí es donde se realiza todo la investigación necesaria para producir el catalizador que está demandando la industria y que dependiendo de sus resultados será producido y comercializado en el mercado. El desempeño de los agentes en esta etapa depende de los recursos que invierten a estas actividades, así como la infraestructura y el recurso humano que tienen disponible para ejecutar las acciones.

Como señala Nelson (1981), las capacidades tecnológicas se pueden agrupar en tres campos: *i)* Inversión física, instalaciones y equipos necesarios, *ii)* Capital humano, conocimiento formal, habilidades adquiridas por la experiencia, y *iii)* Esfuerzo tecnológico, gasto en I+D, patentes, innovaciones. En la primera fase ya se mostró algo de las capacidades tecnológicas relacionadas con Inversión física, en lo que concierne a la capacidad de las refinerías para procesa petróleo; en esta segunda fase se expondrán las capacidades en cuanto a infraestructura y equipos disponibles para la ejecución del proceso, así como el capital humano y las habilidades desarrolladas por ellos; también se exponen las capacidades tecnologías de Petrobras en cuanto a gasto en I+D y a invenciones.

4.1.2.1 Gasto en Investigación y Desarrollo (I+D)

Los gastos que destina Petrobras para las actividades de I+D son alrededor del 0,5% de los ingresos recibidos por la venta de los productos de la compañía[67]. En 2008 Petrobras

[67] Una clausula del contrato de concesión para la producción de petróleo y gas, fija la inversión del 0.5% del ingreso bruto de la compañía en actividades de I+D.

destinó US$ 941 millones para actividades de investigación y desarrollo; en 2009 esta cifra fue de US$ 681 millones, se dio una reducción del 27.6% con respecto al año anterior, esto se debió a una disminución en los precios promedio de ventas. Los gastos de I+D para el área de catálisis fueron de US$ 164 millones para 2009 y de US$ 151 millones para 2008 (Resultados del ejercicio de Petrobras, 2009).

Es importante mencionar que de acuerdo a la clasificación que la industria en: Up, Mid o Downstream,[68] los catalizadores para refinar petróleo se encuentran en el sector downstream, que es donde se realizan las actividades de refinación de petróleo, por eso en algunos casos se habla de los gastos del sector de refinación. Los costos de refinación en Brasil aumentaron el 7.8% en 2009 en comparación a 2008 debido a mayores gastos en personal y al incremento en los precios de los catalizadores y productos químicos utilizados. De otro lado, Los costos internacionales de refinación disminuyeron el 20,8% debido a los mayores volúmenes de petróleo crudo procesado, atribuibles a menores paradas programadas y a menores gastos de reparaciones en las refinerías (Resultados del ejercicio de Petrobras, 2010).

Petrobras planea invertir US$ 29.6 billones en el sector de downstream para el periodo comprendido entre 2008 y 2012; US$ 8,619 serán para mejorar la calidad de los combustibles y US$ 3,938 para la conversión de petróleo; en estas dos actividades los catalizadores son los agentes que permiten mejorar estas condiciones (Plan estratégico 2020 Petrobras, 2007). Petrobras también realiza inversiones para establecer alianzas con universidades e institutos de investigación brasileños para llevar a cabo trabajos de I+D; en 2007 invirtió US$ 129,14 millones en las alianzas con universidades, y en 2008 alrededor de US$ 260 millones (Balance social y ambiental Petrobras, 2007); estas alianzas le permitirán fortalecer las capacidades de sus recursos humanos, así como poder realizar proyectos de investigación en las instalaciones de las universidades, con los equipos e investigadores de las mismas.

[68] Esta clasificación ya fue explicada en el capítulo 3.

4.1.2.2 Capital humano dedicado a actividades de I+D

A marzo del 2010 Petrobras contaba con 55,708 empleados en Brasil, trabajando para la matriz, otros 13,630 trabajan para alguna subsidiaria de la compañía y otros 7,566 trabajan en el exterior[69]. El 42.3% del personal de Petrobras cuenta con estudios de nivel superior completos, otro 46% tiene estudios superiores pero inconclusos, el 1.63% de los empleados tiene un posgrado terminado, el 2% tiene grado de maestría, el 0.44% tiene grado de doctor y el 0.01% tiene estudios postdoctorales; el 85% del total de empleados son hombres y el 15% mujeres. De los 55,708 trabajadores que tiene la compañía en Brasil, 2,034 son investigadores, es decir el 3.7% del recurso humano de Petrobras se dedica a actividades de I+D; esta proporción ha tendido a ser estable durante la primera década del siglo XXI. Aproximadamente el 79% de los investigadores son hombres y el 21% mujeres; el 8.9% de los investigadores son doctores y el 24% son maestros, el restante 67% está conformado por licenciados, técnicos y pasantes (Petrobras, 2010). El número de investigadores de Petrobras que se dedica a actividades de I+D en el área de catálisis es aproximadamente de 137; este número es estimado de acuerdo al número de inventores que han participado en las patentes sobre catalizadores presentadas por la compañía ante la oficina nacional de propiedad intelectual (INPI, 2009).

Pensando en la capacitación y el desarrollo de su personal Petrobras construyó un edificio, ecosustentable, para ser la sede de la Universidad Petrobras en Rio de Janeiro (Brasil); el edificio tiene cerca de 52 mil metros cuadrados de área construida, nueve pisos y capacidad para 4.000 personas; incluye 98 salas de clase, nueve laboratorios especiales, 25 laboratorios de Informática, 35 cabinas de educación a distancia, 27 salas de orientación pedagógica, restaurante, biblioteca y central reprográfica (Petrobras Magazine, 2009). En la Universidad Petrobras los profesionales de nivel superior recién contratados, que no cuentan con experiencia previa, pasan por un periodo de formación de once meses antes de comenzar a trabajar (Materiabiz, 2007). La estrategia de formación de recursos humanos es de gran importancia para la creación de capacidades tecnológicas porque finalmente son los individuos los que a través de procesos de aprendizaje desarrollan habilidades y crean capacidades tecnológicas; es sobre el capital humano que recae el desarrollo de estas

[69] De aquí en adelante se tomará en cuenta solamente el número de trabajadores de la matriz.

capacidades; por esto Petrobras ha realizado grandes inversiones en la formación de sus recursos humanos, especialmente de sus investigadores; la universidad le permite reforzar algunos conocimientos básicos de sus trabajadores para ahí si empezar a desarrollar sus capacidades en el cargo asignado.

4.1.2.3 Infraestructura disponible para actividades de I+D

Las actividades de I+D de Petrobras se desarrollan en el centro de investigaciones CENPES, el cual tiene un área de 122 mil metros cuadrados, cuenta con 30 unidades piloto y 137 laboratorios. Actualmente el CENPES está pasando por un proyecto de ampliación de sus instalaciones, con esta obra aumentará el área del Centro de Investigación en 183 mil metros cuadrados y se convertirá en el centro de investigación más grande de América Latina. Con el proyecto de ampliación, el CENPES tendrá en total 227 laboratorios para investigaciones, en 23 edificios; se ampliarán los laboratorios de Biotecnología, Medio Ambiente y Gas Natural y Energías Renovables (Petrobras, 2010).

En diciembre de 2009 Petrobras inauguró un laboratorio destinado al desarrollo de catalizadores innovadores para la refinación de petróleo, estos nuevos catalizadores están adecuados para el crudo pesado que la compañía extrae de sus cuencas marinas en el estado de Río de Janeiro; el laboratorio fue implantado gracias a inversiones de Petrobras y de la Universidad del Valle del Paraíba (Peopledaily.com, 2009).

Dentro de los procesos que se realizan en el Cenpes caben destacarse los siguientes: a) Desaromatización de Disolventes (USD), b) Craqueo Térmico Blando (CTB) y c) Craqueo Catalítico Tipo Fluido de Residuos (RFCC), para tratar cargas pesadas de alto contenido de azufre y nitrógeno; este último proceso fue desarrollado específicamente para craquear residuos pesados, este proceso le permitirá a Petrobras aumentar de 15 a 23% el rendimiento de las plantas brasileñas que procesan cargas de alto peso molecular y elaborar a partir de ellas más productos de alto valor comercial, tales como gasolinas y liquigás; cabe señalarse que estos tres procesos están patentados por Petrobras (Petroleo.com, 2001).

Petrobras es también un experto en investigación, exploración y procesamiento de esquisto[70], cuenta con una unidad de negocio de procesamiento de esquisto (SIX), ubicada en São Mateus do Sul, en el estado brasileño de Paraná; entre los productos que derivan del esquisto que Petrobras produce se encuentran el aceite combustible, la nafta, el gas combustible, el gas licuado y el azufre, además de los subproductos utilizados en las industrias de asfalto, cemento, cerámica y agrícola. Esta planta también funciona como un centro avanzado de investigación, en el que SIX desarrolla proyectos para el sector de la refinación en alianza con el CENPES y universidades brasileñas (Petrosix, 2010).

Petrobras cuenta con un parque tecnológico para el procesamiento de esquisto, que consta de los siguientes laboratorios y unidades: a) Unidad de objetos múltiples de FCC, aquí se estudia el craqueo de residuos atmosféricos pesados y se prueban catalizadores; b) Unidad de ciclón en frío; c) Unidad de recirculación de catalizadores, allí se investigan materiales y se desarrollan equipos de alto rendimiento en la refinación del petróleo, poniéndose énfasis en la conversión de residuos para aumentar la tasa promedio de utilización del parque de refinación; d) Unidad de destilación; e) Unidad de remoción de asfalto, f) Unidad de tratamiento de emulsiones y mezclas; g) Unidad de destilación al vacío; h) Unidad de tratamiento de gasóleo; i) Unidad de evaluación de distribuidores; j) Unidad de hidrogenación U-104 – HCC, esta unidad tiene una tecnología adecuada de hidrocraqueo para producir combustibles de alta calidad (Petrosix, 2010).

4.1.2.4 Producción de nuevo conocimiento (medido a través de patentes)

El insumo fundamental para la producción de nuevo conocimiento es el conocimiento acumulado (Stiglitz, 2006), pero también se requiere un conjunto de recursos ad hoc, a los

[70] El esquisto es una roca sedimentaria impregnada de querógeno (un complejo orgánico que se descompone térmicamente y produce crudo y gas). Tras la minería del esquisto a cielo abierto, este es transportado hacia un triturador, luego se llevan los fragmentos hacia un reactor cilíndrico vertical para calentarlos a alta temperatura; el esquisto libera materia orgánica en forma de crudo y gas. Los gases de esquisto sufren un nuevo proceso de limpieza para que se obtenga el crudo ligero; el restante del material se envía para la planta de tratamiento de gases, donde se producen gas combustible y gas licuado (GLP) y se realiza la recuperación del azufre. Las ventajas del esquisto son: reduce la emisión de hollín, humo y gases ácidos de azufre, indicado para consumo industrial en centros urbanos, minimiza la corrosión en conductos y chimeneas, alta fluidez, elimina o reduce la necesidad de precalentamiento, disminuye los costes operativos de la quema y es ideal para zonas de clima frío.

cuales se les denomina "inversión en conocimiento", estos elementos son: gasto en I+D, capital humano e infraestructura (Aboites y Soria, 2008). De acuerdo con Polanyi (1967), el conocimiento que se produce se presenta en diversas formas: a) Incorporado, por ejemplo en software, máquinas, aparatos electrónicos, etc. b) Codificado, en artículos científicos, patentes, manuales de procedimiento, etc. c) Tácito, en el capital humano.

La producción de nuevo conocimiento sobre catalizadores para refinar petróleo en esta investigación será medida a través de patentes; las patentes son un derecho exclusivo otorgado por el Estado, para explotar una invención durante un periodo determinado[71]; un título de patente, para ser otorgado, es sometido a un examen de novedad por la oficina de patentes del país donde se solicita. Los requisitos que debe cumplir un invento para que se le otorgue el título de patente son: Novedad en el conocimiento tecnológico, altura inventiva (no obviedad) y potencial para producirse industrialmente (Aboites y Soria, 2008).

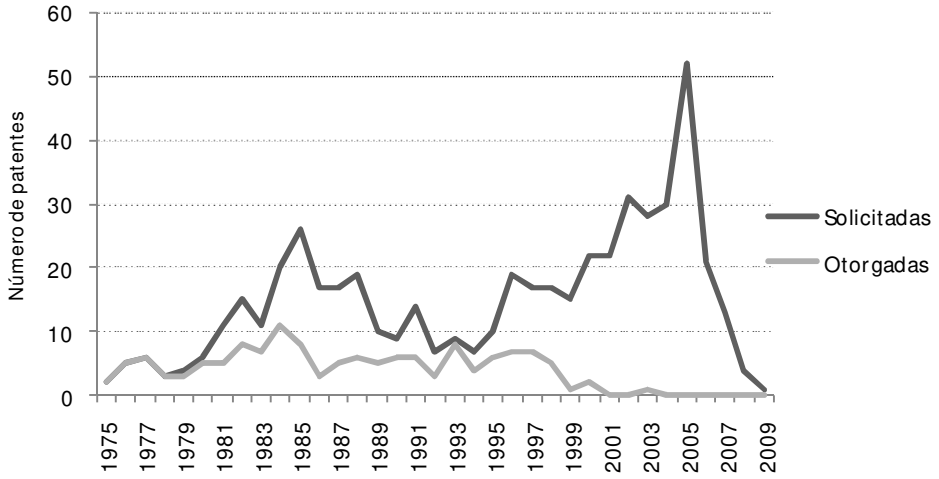
En Brasil la ley Nº 9.279[72] del 14 de mayo de 1996 regula derechos y obligaciones relativas a la propiedad industrial, particularmente en el título I se trata el tema de patentes (INPI, 2010). Como se explicó en el capítulo 2 el estudio de las patentes se hizo para el periodo 1975-2009. De aquí en adelante se hará mención a la base de datos de las patentes bajo el nombre de *Basecatalizinpi* y cuando se hablé sobre catalizadores se estará haciendo referencia exclusivamente a los catalizadores utilizados para refinar petróleo.

Durante el periodo analizado se presentaron 520 solicitudes de patente, sobre catalizadores, ante el INPI, de las cuales se otorgaron 138[73]; es decir, el instituto concedió en promedio 4 patentes de las 15 solicitadas por año. Para los años de 1975 a 1978 se puede ver que se otorgaron todas las patentes solicitadas sobre catalizadores, pero a partir de 1979 el número de patentes otorgadas empezó a crecer menos que las solicitudes de patente; a partir de 1986 la brecha creció significativamente, de hecho en ese año las patentes otorgadas fueron tan solo un sexto de las patentes solicitadas, la brecha disminuyó un poco

[71] Véase Anexo Figura 4.1 Ciclo de vida de la patente
[72] Para más información sobre la ley consúltela en la página web: http://www.inpi.gov.br/menu-esquerdo/patente/pasta_legislacao/legislacao-outros-idiomas/lei_9279_espanhol_html
[73] Véase Anexo Cuadro 4.1 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Brasil (1975-2009), por periodo

a partir de 1991 y hasta 1995; después de 1990 se incrementó la diferencia entre patentes solicitadas y otorgadas.

Figura 4.5 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Brasil (1975-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la *Basecatalizinpi.*

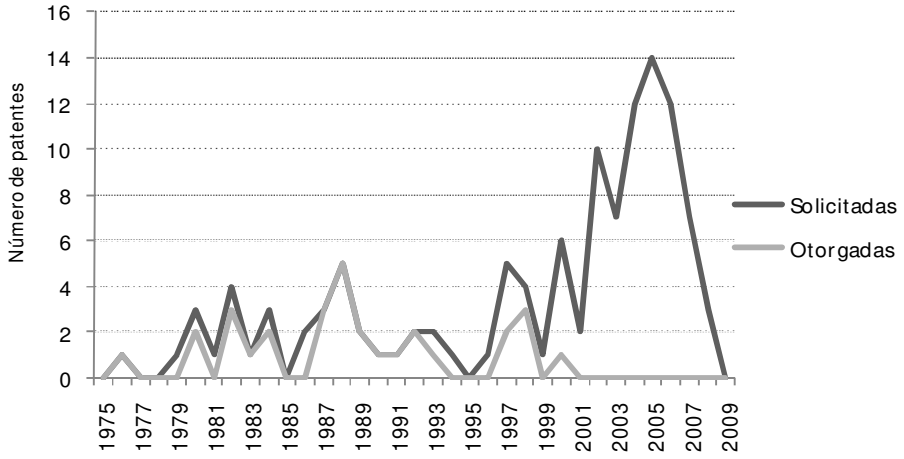
La tendencia creciente de las solicitudes de patente en este campo refleja la importancia que tiene para las empresas productoras de catalizadores proteger el nuevo conocimiento; tanto empresas extranjeras como brasileñas han incrementado su tendencia a patentar su nuevo conocimiento sobre catalizadores. Como ya se ha visto, Brasil es un país con un gran poder en la industria a nivel latinoamericano, y está realizando grandes inversiones en I+D sobre catalizadores, esto ha ocasionado que empresas multinacionales también quieran proteger su conocimiento en Brasil y que además quieran ser proveedoras de Petrobras.

Las solicitudes de patente en el INPI tardan en promedio 6 años en ser dictaminadas, por eso la evolución de las patentes otorgadas a partir de 2004 no se reflejan en la figura 4.5. La tasa de concesión[74], promedio, de las patentes otorgadas por el INPI, sobre catalizadores, fue de 40.58%, lo cual indica que de cada 10 solicitudes de patente que

[74] La tasa de concesión de patentes se define como el cociente de el número de patentes otorgadas entre el número de patentes solicitadas; está determinada al menos por tres factores: i) los asociados a las estrategias tecnológicas y expectativas competitivas de las empresas y de otros agentes de diversos países de origen; ii) aspectos institucionales, tales como la legislación, reglamentos nacionales y/o globales; y iii) criterios de los examinadores, que regulan y administran los DPI (Aboites y Soria, 2008).

se presentaron se otorgaron 4. En los años 1975, 1976, 1977 y 1978, se presentaron las más altas tasas de concesión, del 100%; a estas tasas le siguieron las de los años 1993 y 1980 con 88.89 y 83.33% respectivamente.

Figura 4.6 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Brasil, por empresas residentes (1975-2009)

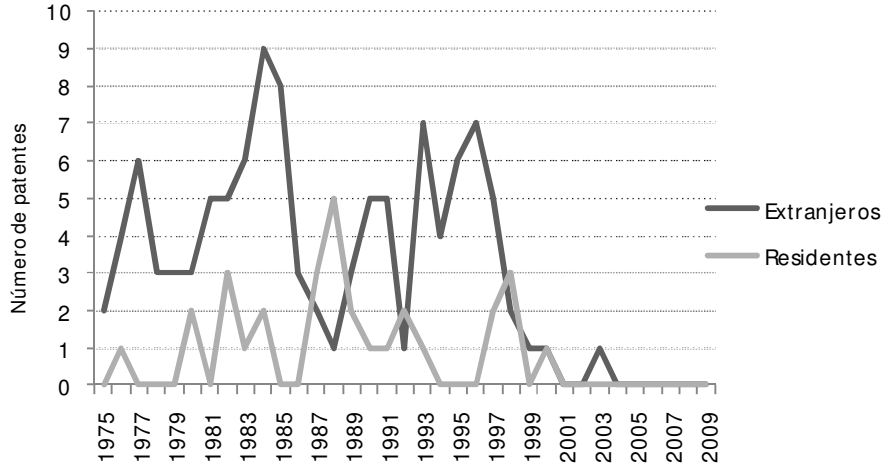


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la *Basecatalizinpi*.

Las solicitudes de patente sobre catalizadores, presentadas por empresas brasileñas, han sido en promedio de 3.34 por año, para un total de 117 solicitudes en los 35 años bajo estudio; en promedio la tasa de concesión de esas patentes ha sido de 34%; en total se han otorgado 30 de esas patentes a las empresas brasileñas (véase la figura 4.6). El 22% de las patentes sobre catalizadores, solicitadas ante el INPI, provienen de empresas brasileñas, en cuanto a las patentes otorgadas, representaron el 21%. Estos porcentajes señalan que las empresas Brasileñas representan un poco más de una quinta parte del conocimiento que se patente sobre catalizadores en Brasil; como se muestra en la figura 4.6 la tendencia de las solicitudes de patente de las empresas residentes es creciente, lo cual es resultado de las inversiones que han realizado en actividades de investigación y desarrollo; la industria del petróleo es de gran importancia para Brasil porque tiene una gran influencia sobre su economía, incide directamente en su PIB.

Las empresas extranjeras durante el periodo analizado han presentado en total 403 solicitudes de patente, sobre catalizadores, ante el INPI, de las cuales se les ha otorgado 108, lo que representa un 27%, un poco más que a las empresas residentes; su tasa de concesión, promedio, fue de 39%. Así como en el caso de las empresas residentes, la tendencia de las solicitudes de patente de las empresas extranjeras, en este campo, es creciente; a nivel internacional el mercado de los catalizadores está dominado por unos cuantos países por eso estos procuran proteger el conocimiento que producen, lo protegen a nivel mundial porque es una forma de poner una barrera de entrada al mercado y mantener el oligopolio.

Figura 4.7 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Brasil, a residentes y extranjeros (1975-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la *Basecatalizinpi.*

En general el número de patentes otorgadas, sobre catalizadores, a empresas residentes siempre ha sido menor que el otorgado a empresas extranjeras; en promedio las patentes otorgadas a empresas residentes representaron el 41% de las concedidas a empresas extranjeras; aunque han habido años, como 1980 y 1989, donde han representado hasta el 67%; cabe señalar que esta proporción ha sido aun mejor para los años 1987, 1988, 1992, 1998 y 2000, donde las patentes concedidas a empresas residentes representaron el 150%, 500%, 200%, 150% y el 100% respectivamente, de las otorgadas a empresas extranjeras. El promedio de patentes otorgadas a empresas extranjeras, sobre catalizadores, ha sido de 3.08

patentes por año, mientras que el de las empresas residentes ha sido de 0.85 por año, es decir menos de una tercera parte de lo que se otorga a empresas extranjeras (Véase la figura 4.7).

Aunque es menor el número de patentes otorgadas a empresas brasileñas, sobre catalizadores, 30, se debe tener en cuenta que estas han sido el resultado de solamente 5 empresas, mientras que las 108 patentes otorgadas a empresas extranjeras provienen de 51 empresas diferentes; esto refleja el gran desempeño de las empresas residentes en el campo. Sin embargo, a pesar del progreso, Brasil todavía tiene un nivel de innovación bajo comparado con el de otros países, por ejemplo, Brasil produce aproximadamente el 1,7% del conocimiento internacional, versus el 8 ó 9% producido por el Reino Unido (IABD, 2006)[75]; más adelante se desglosará la participación por países y se destacaran las empresas más proliferas.

Es importante señalar que es probable que el número de solicitudes de patente sobre catalizadores para refinar petróleo tienda a disminuir a partir de 2010, como consecuencia de la búsqueda de sustitutos de la gasolina y de combustibles derivados del petróleo; existe una tendencia a investigar y producir conocimiento sobre biocombustibles[76] debido a que son una buena opción para sustituir a los combustibles fósiles tradicionales, carbón y petróleo, que debido a su escasez cada vez más notoria, sufren alzas permanentes en sus precios[77] (Petroleo.com, 2010), además los biocombustibles generan una menor contaminación ambiental que es hoy una constante preocupación de la sociedad.

La empresa a la cual el IMPI le concedió el mayor número de patentes sobre catalizadores fue *Petrobras S.A.,* que obtuvo 23 patentes en total, 4 de esas patentes las trabajó en alianza con otras empresas brasileñas: 3 con *Polialden petroquímica S.A.*, y una con *Polibrasil S.A.*; las 23 patentes de Petrobras representan el 16. 55% del total de patentes otorgadas; en el segundo lugar del ranking se encuentra *Exxon Research Engineering*

[75] Para más información véase la página web: http://www.iadb.org/articulos/2006-07/spanish/brasil-atiende-llamado-de-mayor-innovaci0n-tecnol0gica--3190.html.

[76] Biocombustible es un concepto que hace referencia a cualquier tipo de combustible que se derive de la biomasa, la biomasa es la masa resultante de materiales biológicos, básicamente plantas, destinada a reemplazar los combustibles fósiles en electricidad y/o calor

[77] Para más información véase la página web: http://www.petroleo.com/pi/secciones/PI/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_74025_HTML.html?idDocumento=74025.

Company con 9.35% de las patentes otorgadas, representada por sus 13 patentes; le siguen *Shell International Research* con 8 patentes, que representan un 5.76%, *Hoechst AG* con 7 patentes, es decir 5.04% de participación, y *Mobil Oil Corporation* con 7 patentes, que representan otro 5.04%; ocupando tercer, cuarto y quinto lugar respectivamente[78]. Estas 5 empresas concentran el 41.73% de las patentes otorgadas sobre catalizadores, sumadas las 10 primeras empresas se tiene más del 60% del total de patentes concedidas lo que señala una fuerte concentración de este mercado, como ya se mencionó en el anterior capítulo.

Cuadro 4.2 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Brasil, clasificadas por países (1975-2009)

País	*P. Otorgadas*	*N° Empresas*	*Participación %*
Estados Unidos	66	26	49.25
Brasil	30	5	22.39
Alemania	16	8	11.94
Holanda	10	3	7.46
Francia	2	2	1.49
Otros*	10	12	7.5
Total	*134*	*56*	*100*

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Basecatalizinpi.*

* Canadá, Colombia, Finlandia, Italia, Japón, Liechtenstein, Noruega, Reino Unido, Suecia y Venezuela; cada uno de ellos con una patente.

El 61% de las patentes otorgadas sobre catalizadores, por el INPI, son sobre catalizadores para aplicar en el proceso de FCC, el 12.4% sobre catalizadores de hidrotratamiento, el 10% son mejoras a catalizadores ya existentes, el 7.2% son para reformación de crudo, y el 9.4% restantes son sobre tratamiento de residuos del petróleo. En cuanto a las solicitudes, el 57% son de catalizadores para el proceso FCC, el 17% sobre mejoras a catalizadores, 12% sobre catalizadores de hidrotratamiento, el 6% sobre reformación de petróleo, y el 8% restante son sobre tratamiento de los residuos de petróleo.

[78] Véase Anexo Cuadro 4.2 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Brasil (1975-2009), por solicitante; el cuadro contiene la lista completa de los solicitantes que tienen al menos una patente sobre catalizadores otorgada por el INPI durante el periodo analizado.

Como señala Aboites et al (2004), la industria mundial de catalizadores está controlada principalmente por las compañías de Estados Unidos y Europa, lo cual se refleja en él número de patentes que tienen otorgadas por el INPI de Brasil; a partir del cuadro 4.2 se observa que las empresas estadounidenses tiene 66 patentes otorgadas sobre catalizadores, es decir, tienen casi el 50% del total de otorgamientos de 1975 a 2009; las empresas brasileñas tienen el 22.39% con 30 patentes en total, le sigue Alemania con 16 patentes que representan 11.94%, posteriormente se encuentran Holanda con una participación del 7.46% y Francia con 1.49%. Esta concentración indica que estos cuatro países tienen en Brasil más del 90% de las patentes otorgadas en materia de catalizadores. Las patentes, sobre catalizadores, como indicador de las capacidades tecnológicas, muestran que Petrobras tiene una gran capacidad para producir nuevo conocimiento y protegerlo en Brasil; Además muestran la presencia de grandes competidores para Petrobras y en general para las empresas nacionales, en esta industria.

En el cuadro 4.3 se muestra el número de patentes solicitadas y otorgadas a empresas residentes, en materia de catalizadores; la lista está conformada por 16 empresas en total; Petrobras S.A. es la empresa que se encuentra en el primer lugar por haber presentado el mayor número de solicitudes, 82, de las cuales ocho han sido solicitadas en asociación con otras empresas; le sigue Polialden Petroquímica S.A. con 5 patentes solicitadas, 2 de ellas de manera individual y las otras 3 en equipo con otras empresas; en el tercer lugar se encuentra la Universidad Federal de Rio de Janeiro, que ha presentado 4 solicitudes de patente en total, una de estas en colaboración con Petrobras; en el cuarto lugar está Oxiteno S.A. que ha presentado 3 solicitudes, una de manera individual y las otras dos en colaboración con otras empresas; en el quinto lugar hay un empate entre Columbia Tecnologia em Petróleo e Serviços LTDA. y Paulista Caldeiras Compac, cada una de ellas con dos solicitudes de patente; las otras diez empresas brasileñas solo tienen una solicitud de patente cada una. En 2007 Petrobras presentó en total 59 solicitudes de patente, de las cuales el 13% correspondieron a patentes sobre catalizadores para refinar petróleo (Petrobras, 2007).

Cuadro 4.3 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Brasil, a empresas residentes (1975-2009)

Empresa	*Solicitadas*	*Otorgadas*
Petrobras S.A.	82[d]	23[a]
Polialden Petroquímica S.A.	5[b]	5[b]
Universidade federal do Rio de Janeiro	4[c]	0
Oxiteno S.A. Indústria e Comercio	3[c]	2
Compac Sociedade Paulista de Caldeiras LTDA.	2	0
Columbia Tecnologia em Petróleo e Serviços LTDA.	2	0
Taylor Freezer Brasil	1	1
Otras*	9	0

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Basecatalizinpi*.

[a] Comparte 4 patentes con otras dos empresas
[b] Comparte 3 patentes con otra empresa
[c] Comparte la patente con otra empresa
[d] Comparte 8 patentes con otras empresas
* Incluye: a Polibrasil, Alfa Rio Química, COPPE, GSA do Brasil tratamentos ambientais, Lentz, Universidade Feredel de Minas Gerais, Instituto de pesquisas tecnológicas, Laboratorio Universal y La Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração; cada uno de ellos con una patente solicitada.

En el 9.75% de las solicitudes de patente, sobre catalizadores, presentadas por Petrobras, ante el INPI, la petrolera ha trabajado en colaboración con otra empresa; en la mayoría de los casos ha trabajado con empresas nacionales (Polialden Petroquímica S.A., Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, Polibrasil S.A., Universidad federal de Rio de Janeiro y con Oxiteno S.A.), y en algunos casos con empresas extranjeras (Akzo Nobel, Kobe Steel LTDA., y Universidad Politécnica de Valencia). De las 82 solicitudes de patente sobre catalizadores, presentadas por Petrobras ante el INPI, el 69% son de catalizadores FCC, 12% de mejoras a catalizadores, 9% son de catalizadores de hidrotratamiento, 5% son de reformación de petróleo y otro 5% de tratamiento de residuos. En cuanto a las otorgadas, 19 de ellas son de catalizadores para el proceso de FCC, 2 de hidrotratamiento, 1 de mejoras a un catalizador existente y 1 más sobre un proceso de reformación del crudo.

El grupo de los investigadores brasileños, que han participado al menos en una patente sobre catalizadores, está conformado por 193 inventores, 151 de ellos hombres y 42

mujeres; 49 investigadores de este grupo tienen al menos en una patente otorgada, 37 de ellos son hombres y 12 son mujeres; 33 de estos inventores son trabajadores de Petrobras, 2 de Polibrasil, 4 de Oxiteno, 5 de Polialden, 1 de Taylor Freezer Brasil y los otros 4 son inventores que no presentaron la patente a nombre de una organización, sino a su nombre propio: Camillo Machado, Afranio Dau Machado, Amilo Machado Junior y José Malfitani.

137 investigadores han participado en las solicitudes de patente, sobre catalizadores, presentadas por Petrobras S.A.; entre ellos hay un estadounidense: Paul O'connor, un portugués: Jose Carlos Pinto Da Silva, un japonés: Mario Okawa, un Holandés: Pieter Imhof, y un canadiense: Salles Marcelo, los otros 132 inventores son brasileños; solo el 3.6% de estos inventores son extranjeros. Los inventores más prolíficos de Petrobras, de acuerdo al número de participaciones en las patentes otorgadas, analizadas, fueron: José Carlos Duarte Macedo con 4 participaciones, Juan Raúl Quijada Abarca con 4, Odyr do Coutto Filho con 3, Edisson Morgado junior con 2 y Carlos Guerra Pereira con 2 participaciones. En términos de participaciones absolutas en patentes, sean otorgadas o solicitadas, los inventores más prolíficos fueron: Claudia De La Cerda, que participó en 17 patentes, luego está Andrea De Rezende que participó en 12 patentes, le sigue Henrique Soares quien participo en 11, luego está Lam Yiu quien participó en 9 patentes, y el quinto inventor más prolífico fue William Gilbert, quien participó en 7 patentes.

En el centro de investigaciones de Petrobras se realizan actividades de investigación y desarrollo principalmente para catalizadores que son utilizados en el proceso de craqueo térmico e hidrotratamiento, esto se debe a las características de su crudo y a su acumulación de conocimientos en estos tipos de catalizadores.

4.1.3 Escalamiento, Producción y Venta

Esta es la tercera y última fase del proceso productivo; en esta etapa se exponen las capacidades tecnológicas que tiene Petrobras para: realizar la prueba piloto y la prueba industrial, producir catalizadores que se puedan utilizar en la industria y establecer alianzas con compañías extranjeras; Esta etapa se compone de las actividades de prueba en planta piloto, prueba industrial, realización de las mejoras incrementales necesarias, y finalmente, producción y en algunos casos venta del nuevo catalizador.

4.1.3.1 Realización de la prueba piloto e industrial

Unas de las actividades más importantes en el proceso de producción de catalizadores para refinar petróleo son las pruebas de los catalizadores; primero se hacen pruebas en el laboratorio, con pequeñas cantidades de catalizador y de crudo; a partir de los resultados de las pruebas se hacen las mejoras necesarias, si así fuese; posteriormente se realiza la prueba piloto, esta prueba se realiza en plantas a escala, en esta caso se evalúa a una escala más grande que la usada en el laboratorio, pero menor a la que se utilizaría industrialmente. Petrobras tiene las capacidades tecnológicas para probar en el laboratorio y en las plantas piloto los catalizadores que son desarrollados por el Cenpes.

Como ya se mencionó, en el apartado de infraestructura, el Cenpes cuenta con laboratorios para probar los catalizadores que son desarrollados; además en el Parque tecnológico de Petrobras cuentan con una planta piloto para evaluar catalizadores FCC, en esta planta se estudia el craqueo de residuos atmosféricos pesados y se prueban catalizadores, también cuenta con unidades para evaluación de catalizadores de hidrotratamiento (Petrosix, 2010). Si bien Petrobras a través del Cenpes tiene las capacidades para probar los catalizadores en sus plantas piloto, no tiene la capacidad para realizar la prueba industrial; Petrobras no realiza la prueba de los catalizadores a escala industrial; no los prueba con los volúmenes de petróleo y de catalizador que necesitaría una refinería en su actividad normal. Para realizar la prueba industrial necesitaría tener una refinería disponible solamente para eso, lo cual es muy costoso porque durante el tiempo que no se estén probando catalizadores la refinería estaría generando costos de operación sin ser usada.

La estrategia que utiliza Petrobras, para probar industrialmente los catalizadores, es transferir la formulación de los catalizadores desarrollados por el Cenpes a la Fábrica Carioca de Catalisadores S.A. (FCCSA, 2010), y allí se realizan las pruebas de los catalizadores a escala industrial. Por lo tanto, la Fábrica de catalizadores se convierte en proveedora de catalizadores para Petrobras; de hecho la FCC S.A. realiza parte de sus investigaciones en las instalaciones del Cenpes. En la siguiente sección se presenta más información sobre la Fábrica Carioca de Catalisadores y las alianzas que tiene con Petrobras.

4.1.3.2 Empresas nacionales productoras de catalizadores

En Brasil la única empresa nacional que produce catalizadores para refinar petróleo es la Fábrica Carioca de Catalisadores S.A., esta compañía fue el resultado de la asociación de Petrobras, Akzo Nobel y Oxiteno, en 1985; la compañía surgió por la necesidad de sustituir los catalizadores importados por los producidos nacionalmente. En Mayo de 1989 se inauguró la Fábrica Carioca de Catalisadores y en diciembre del mismo año se lanzó del primer catalizador totalmente producido en el país. La FCC S.A. invirtió hasta mediados de 2005 cerca de US$ 23 millones para expandir la capacidad de producción anual de catalizadores de 33 mil toneladas a 45 mil toneladas. Actualmente Petrobras y Albemarle Catalysts tienen, cada una, el 50% del capital de FCC S.A. (FCCSA, 2010).

La FCC S.A. suministra el 95% de los catalizadores utilizados en el proceso de refinación de Petrobras, el otro 5% es importado por la petrolera con el objetivo de comparar la calidad y productividad de lo que es producido en el país. La FCC S.A. comercializa 14 diferentes tipos de aditivos, que son aplicados en las refinerías con el mismo objetivo que el catalizador, pero empleados para una función más específica[79]. La FCC S.A. produce y comercializa a Petrobras 13 catalizadores diferentes, los catalizadores varían de acuerdo al nivel de destilación, al contenido de metales en el crudo y al nivel de octanaje esperado[80] (FCCSA, 2010).

Petrobras a través de la alianza con Albemarle ha adquirido habilidades que le permiten construir capacidades tecnológicas para la producción de catalizadores; más adelante esto le podría permitir la creación de su propia fábrica de catalizadores, con lo cual incrementaría su poder no solo a nivel latinoamericano, sino también a nivel mundial, además podría llegar a tener una fuerte participación en el mercado sudamericano.

[79] El centro de investigación de FCC S.A. desarrolla cada 17 días nuevas fórmulas de productos para reducción del azufre, que permiten alcanzar los objetivos de Petrobras. La FCC S.A. realiza actividades de investigación en el Centro de Investigaciones de Petrobras (Cenpes), y en los centro de investigación de Albemarle en Estados Unidos y Holanda (FCCSA, 2010).

[80] Para más información sobre los catalizadores y las tecnologías utilizadas véase la página web: http://www.fccsa.com.br/templates/fccsa/publicacao/publicacao.asp?cod_canal=4&cod_publicacao=15&cod_idioma=2

4.1.3.3 Catalizadores desarrollados y empleados

Los catalizadores que desarrolla Petrobras, en el Centro de Investigación (Cenpes), son catalizadores utilizados principalmente en el proceso de craqueo catalítico[81] (FCC, por sus siglas en inglés), y en el proceso de hidrotratamiento.

Los catalizadores desarrollados en el Cenpes son probados y producidos a nivel industrial por la FCC S.A.; como ya se observó, en el apartado de producción de conocimiento, la FCC S.A. no tiene ninguna patente registrada ante el INPI, esto se debe a que las invenciones son realizadas por los investigadores de Petrobras y Albemarle, y la Fábrica solo se encarga de la realización de la prueba industrial y la posterior producción. Petrobras utiliza todos los catalizadores producidos por la FCC S.A. que representan el 95% de los catalizadores utilizados; el otro 5% lo adquiere de proveedores extranjeros con los cuales tiene algún tipo de alianza (Albemarle, Avantium y Kobe Steel); en el siguiente apartado se explicará más sobre las alianzas y acuerdos entre Petrobras y otras empresas.

4.1.3.4 Alianzas con firmas productoras especializadas

Petrobras como la empresa petrolera de Brasil tiene capacidades tecnológicas que le permiten desarrollar nuevos catalizadores que satisfacen las necesidades de la empresa y que permiten procesar el petróleo producido en el país; a pesar de tener un gran poder a nivel latinoamericano no tiene la capacidad para producir los catalizadores que desarrolla; para la ejecución de esta actividad Petrobras establece alianzas con otras empresas productoras de catalizadores, quienes se encargan de probar y producir los catalizadores formulados por Petrobras. La colaboración entre empresas nacionales e internacionales contribuye a la superación de retos financieros, técnicos y de gestión que suponen la puesta en marcha de nuevas capacidades de producción de catalizadores para refinar petróleo (IEA, 2008).

[81] Consiste en romper las moléculas de los subproductos resultantes del proceso de destilación a través de un catalizador, con el objeto de aprovecharlos en la producción de gasolinas. El proceso FCC es fundamental en la productividad de una refinería de petróleo, principalmente cuando se utilizan crudos pesados ya que a través de este proceso se recupera un mayor porcentaje de productos ligeros por cada barril procesado (RECITEC, 2001).

A continuación se enlistan las principales alianzas que ha desarrollado Petrobras con otras firmas especializadas en producción de catalizadores, y que aún están vigentes:

i. En diciembre de 2007 Petrobras firmó un acuerdo con la firma holandesa Avantium para el desarrollo de catalizadores; Avantium le ayuda a Petrobras a realizar pruebas de escalamiento de algunos catalizadores desarrollados por Petrobras para diferentes procesos catalíticos (Hidrotratamiento, hidrogenaciones selectivas GTL y GTP, condensaciones, Fischer-Tropsch, isomerización, entre otros).
ii. Una alianza importante para Petrobras fue la que firmó en 1985 con Akzo Nobel y Oxiteno, para la creación de la Fábrica Carioca de Catalisadores; como ya se mencionó, en la FCC S.A. se prueban y se producen los catalizadores desarrollados por los investigadores de Petrobras y de Albemarle. La creación de esta fábrica permite el desarrollo de la industria de los catalizadores para refinar petróleo en Brasil, y genera ingresos naciones los cuales se reflejan en la reducción de las importaciones nacionales; además le permite a Petrobras tener poder en la producción nacional de catalizadores; además al tener parte de la propiedad de la Fábrica también tiene poder para direccionar algunas de las estrategias de esta en función de sus necesidades.

Las diferentes alianzas que tiene Petrobras le permiten generar ventajas competitivas frente a sus competidores; asimismo la adquisición de habilidades por parte de sus investigadores le permite la construcción y mejoramiento de sus capacidades tecnológicas para realizar innovaciones incrementales en sus catalizadores.

4.2 Colombia

A continuación se presentan las capacidades tecnológicas que tiene Colombia, a través de Ecopetrol, en la producción de catalizadores para refinar petróleo; como ya se comentó en la introducción de este capítulo, se expondrán las capacidades existentes en cada fase del proceso de producción, empezando por la fase de *Demanda del catalizador*, siguiendo con

la de *Investigación y Desarrollo*, y terminando con la de *Escalamiento, Producción y Venta*.

4.2.1 Demanda del catalizador

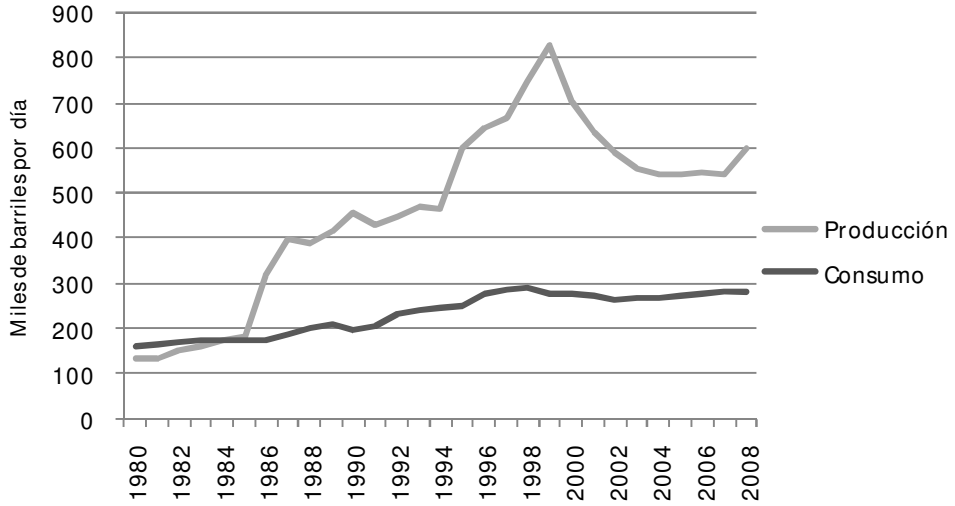
Esta es la primera fase del proceso productivo; aquí se analizan las capacidades que tiene Colombia para producir petróleo, consumir petrolíferos, refinar petróleo y realizar operaciones de comercio exterior; como ya se ha mencionado, estas capacidades están asociadas con la disponibilidad de equipos, instalaciones e inversiones físicas con las que cuenta el país para llevar a cabo sus actividades.

4.2.1.1 Consumo, producción y reservas nacionales de petróleo

Colombia ocupa el lugar 28 dentro del grupo de los mayores productores de petróleo del mundo y el número quinto a nivel latinoamericano. La producción de petróleo en el país mostró una tendencia creciente hasta 1999, año en que se produjeron 830 mbd, el promedio de producción durante 1980 a 1999 fue de 409 mbd; desde el año 2000 y hasta 2005 la producción se redujo hasta llegar a producir 539 mbd; a partir de 2007 nuevamente se incrementa la producción de petróleo y se espera que aumente más debido al reciente descubrimiento de un yacimiento en los llanos colombianos, se calcula que este nuevo yacimiento incrementará la producción en 30 mbd. Estos incrementos en la producción han estado asociados a la optimización, al redesarrollo de los campos maduros, e igualmente a la incorporación de procesos de recuperación secundaria en los yacimientos del país (Ecopetrol, 2010). El 98% de la producción de petróleo en Colombia es petróleo crudo, el 2% restante son líquidos de gas natural, como etano, propano, butano y otros (EIA, 2010).

El consumo de petrolíferos en Colombia a partir de 1984 se ha mantenido por debajo de la producción, esto ha permitido que no haya demanda insatisfecha y que se pueda exportar parte de la producción; a diferencia de la producción de petróleo, el consumo de petrolíferos ha tenido un comportamiento más estable, ha estado alrededor de 231.7 mbd (Véase la figura 4.8). Colombia es un país autosuficiente en cuanto a producción y consumo de petróleo, esta posición le ha permitido al país tener ingresos provenientes de las exportaciones de crudo, así como de refinados.

Figura 4.8 Colombia, Producción de petróleo vs consumo de petrolíferos (1980-2008)



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA (2010).

Las reservas probadas de petróleo en Colombia ascienden a 1.74 billones de barriles (bb) para 2009; las reservas de crudo tuvieron una tendencia creciente hasta 1996, llegando a ubicarse en 3.5 bb; a partir de 1997 han mostrado una tendencia a la baja, llegando hasta 1.36 bb. La disminución tanto en la producción como en las reservas de petróleo en Colombia provocan e incentivan a que se realicen proyectos para el descubrimiento de nuevo yacimientos, así como el incremento en la explotación en aguas profundas; además esto incita a que se continúe con el desarrollo de actividades de I+D en la producción de nuevos catalizadores que permitan procesar crudos más pesados, que son los que van quedando en los yacimientos después de que se han procesado crudos ligeros y súper ligeros. A partir de 2009 se ha visto un incremento en las reservas probadas de crudo, el 20% proviene de adquisiciones y el otro 80% viene principalmente de los campos operados por Ecopetrol en Colombia, así como de otros campos que tienen en sociedad con las compañías asociadas (Ecopetrol, 2010).

4.2.1.2 Capacidad instalada para el procesamiento de petróleo (Refinerías)

Ecopetrol cuenta con una infraestructura que integra el proceso de transformación de hidrocarburos, para garantizar la demanda y el consumo nacional de combustibles y petroquímicos de manera rentable con estándares de calidad cada vez más altos. En 2008 Ecopetrol tuvo una carga de refinación de 310.1 mil barriles diarios, 232 mbd en las Refinerías de Barrancabermeja y 78.1 mbd en la de Cartagena (Ecopetrol, 2010).

Las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena suplen la producción nacional de combustibles, que permite atender la demanda del país y la salida de productos de exportación; la refinería de Barrancabermeja tiene la responsabilidad de generar el 75% de la gasolina, combustóleo, diesel y demás combustibles que el país requiere, así como el 70% de los productos petroquímicos que circulan en el mercado nacional (Ecopetrol, 2010). En Colombia operan adicionalmente dos pequeñas refinerías en Orito y Apiay (cada una produce 6 mbd), para la producción de combustibles para uso local.

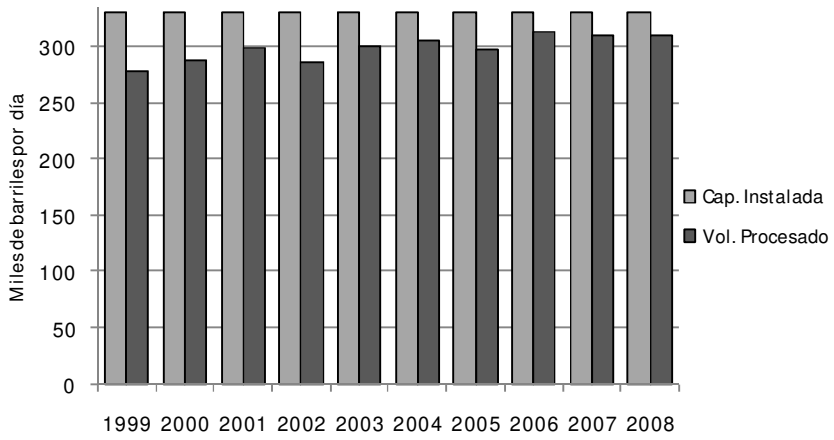
Cuadro 4.4 Colombia, Capacidad instalada y volumen procesado por refinería (2008)

Refinerías	*Capacidad Instalada (mbd)*	*Volumen Procesado (mbd)*	*Utilización (%)*
Barrancabermeja	250	232	92.8
Cartagena	80	78.1	97.6
Total	*330*	*310.1*	*94*

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecopetrol (2010).

Como se observa en el cuadro 4.4 el porcentaje de utilización de las refinerías de Ecopetrol fue del 94% para 2008, el promedio para años anteriores fue de 84%, esto significa que en 2008 la compañía aprovechó mejor sus refinerías y proceso un mayor volumen de crudo, esto también se debe a que hubieron menos paradas no programadas en las refinerías. El aumento en el volumen de crudo procesado también generó un aumento en la demanda de catalizadores por parte de las refinerías.

Figura 4.9 Colombia, Histórico de la capacidad instalada vs. volumen procesado en las refinerías (1999-2008)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecopetrol (2010).

Como se observa en la figura 4.9 las refinerías de Ecopetrol han procesado en promedio 298.4 mbd, lo que significa que la compañía ha aprovechado, en promedio, el 91% de la capacidad instalada en sus refinerías. Algunas de las disminuciones en el volumen procesado están relacionadas con paradas programadas, para cuestiones de mantenimiento, o por paradas imprevistas, que además implican mayores costos. En 2007 la producción de petrolíferos en Colombia tuvo la siguiente composición: 36% Diesel, Gasolina 28%, Combustóleo 22%, Gas licuado 8%, y otros derivados 7%.

Ecopetrol ha hecho importantes inversiones para aumentar la capacidad instalada en sus refinerías y generar productos de mayor calidad; a esto es lo que se refiere Figueiredo (2002) cuando habla de adquirir capacidades tecnológicas a través de la inversión de recursos en la mejora de procesos, la organización de la producción, equipos, entre otros.

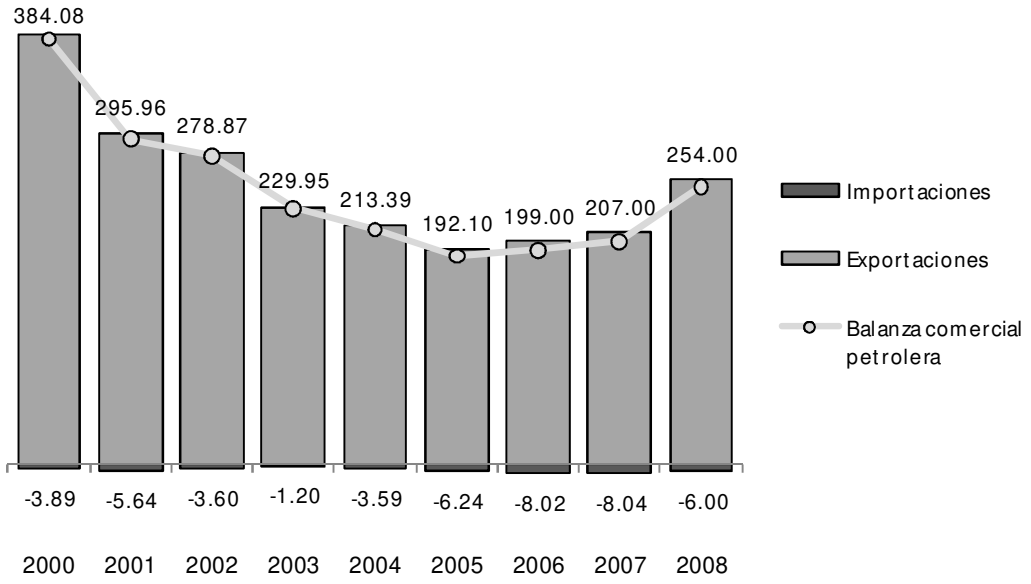
4.2.1.3 Balanza comercial petrolera

En Colombia la balanza comercial del petróleo ha sido positiva; durante el periodo analizado las exportaciones de petróleo siempre fueron mayores que las importaciones, en promedio las exportaciones son 67 veces más grandes que las importaciones. Es de

esperarse que el país tenga una balanza positiva ya que su producción es mucho más grande que su consumo; si la relación no fuera así ocurriría lo que ocurrió en Brasil durante varios años, que como su consumo de petrolíferos era mayor que su producción debía recurrir a importar petróleo o petrolíferos para cubrir la demanda excedente (Véase la figura 4.10).

El principal destino de las exportaciones en el 2009 fue la Costa del Golfo de Estados Unidos, hacia donde se dirigió el 58% de los volúmenes, seguido por el Lejano Oriente con el 24% (Ecopetrol, 2010).

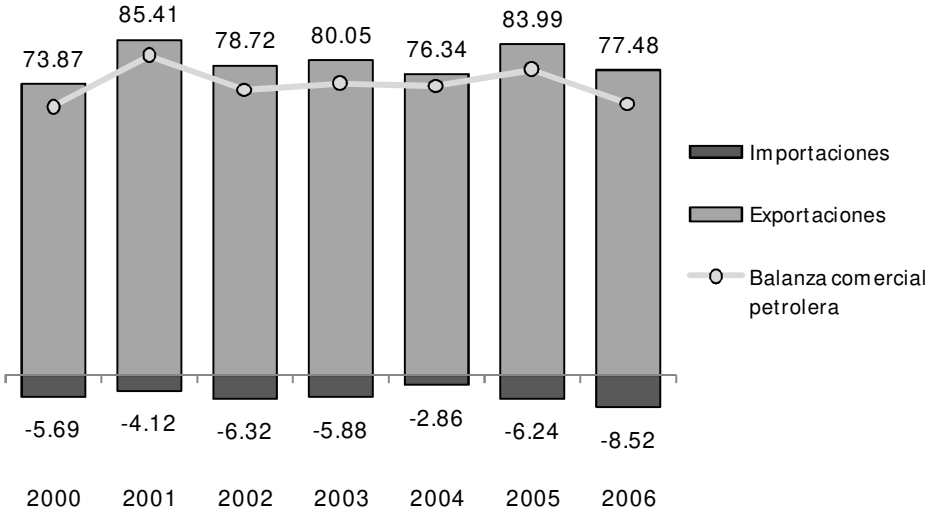
Figura 4.10 Colombia, Balanza comercial de petróleo (2000-2008), miles de barriles por día



Fuente: Elaboración propia a partir de EIA (2010).

En el caso de las exportaciones e importaciones de derivados del petróleo la situación no cambia mucho; el nivel de las importaciones sigue siendo pequeño, 5.66 mbd, de hecho las exportaciones son en promedio 16 veces más grandes que las importaciones. En suma, se puede decir que Colombia es un país autosuficiente en materia de petróleo; realiza importantes exportaciones, principalmente de petróleo, y pequeñas importaciones, en mayor cantidad de refinados de petróleo (Véase la figura 4.11).

Figura 4.11 Colombia, Balanza comercial de derivados de petróleo (2000-2006), miles de barriles por día



Fuente: Elaboración propia a partir de EIA (2010).

La balanza comercial de derivados también demuestra que el país tiene las capacidades para refinar más crudo del que necesita y poder destinar el excedente al mercado externo; aunque las exportaciones de petróleo son más grandes que las de productos refinados, Ecopetrol está trabajando para aumentar las segundas y así tener mayores ingresos debido a que los productos refinados tienen mayor valor en el mercado que el petróleo crudo.

4.2.2 Investigación y Desarrollo

Esta es la segunda fase del proceso productivo, aquí se tienen en cuenta los principales indicadores de Ecopetrol en cuanto a Gasto en I+D, infraestructura disponible, investigadores y producción de conocimiento; estos indicadores permiten identificar las capacidades tecnológicas de tiene el país en cuanto a inversión física, capital humano y esfuerzo tecnológico (Nelson, 1981).

4.2.2.1 Gasto en Investigación y Desarrollo (I+D)

El plan de inversiones de Ecopetrol para 2009 fue de US$ 6,224 millones, lo que representa un incremento de 35% frente a los US$ 4,621 millones invertidos en 2008 y más de tres veces lo invertido en 2007. El total de las inversiones de Ecopetrol en el área de Petroquímica y Refinación para 2009 fue de US$814 millones, los cuales se destinaron para continuar la modernización de las refinerías y para el mejoramiento de la calidad de los combustibles; en 2008 fue de US$ 476 millones. En la construcción y puesta en funcionamiento de la planta de hidrotratamiento de Barrancabermeja se invirtieron US$244 millones en 2009; este proyecto permitirá que los combustibles producidos en ese complejo industrial cumplan los más exigentes estándares ambientales internacionales (Ecopetrol, 2010). El presupuesto del Instituto Colombiano del Petróleo para 2009 fue aproximadamente de US$ 85 millones, alrededor del 35% del presupuesto se invirtió en actividades de I+D para el área de catálisis; esta cifra ha ido incrementándose llegando a multiplicarse casi cuatro veces durante los últimos cinco años (Entrevista a personal del área de Catálisis-Ecopetrol, Mayo de 2010).

El plan de inversiones para el año 2010 será de US$ 6,925 millones, lo que representa un aumento de 11% frente a lo aprobado para 2009; el plan de inversiones para el área de refinación y petroquímica, a la cual pertenece la investigación en catalizadores, será de US$ 1,294 millones para 2010, cifra que representa un incremento del 58% respecto a lo invertido en 2009; US$105 millones de las inversiones en refinación y petroquímica para el 2010 serán para actividades de investigación y desarrollo, mismas que se realizarán en el Instituto Colombiano del Petróleo (Dinero.com, 2009). Ecopetrol está trabajando principalmente en el mejoramiento de la calidad de sus combustibles, está buscando reducir las emisiones de azufre de sus productos; el diesel que la compañía vende en Bogotá es de calidad internacional, de menos de 50 partes por millón de azufre; este tipo de combustible sólo está presente en tres ciudades de Latinoamérica: Santiago de Chile, Ciudad de México y Bogotá.

4.2.2.2 Capital humano dedicado a actividades de I+D

En 2009 Ecopetrol cerró con 6,695 empleados, cifra que representa un 2.6% de crecimiento frente al año inmediatamente anterior; durante 2009 Ecopetrol consolidó el proceso de selección y búsqueda de personal basado en las competencias organizacionales, de liderazgo y técnicas requeridas para enfrentar los retos empresariales, lo que permitió el ingreso de 560 nuevos trabajadores, entre los cuales se encuentran 29 colombianos que residían en el exterior y siete extranjeros, de igual forma, fueron vinculados 434 estudiantes con contrato de aprendizaje (Ecopetrol, 2010); a Ecopetrol le interesa vincular estudiantes de pregrado porque es una forma de tener contacto con el mundo académico y aprovechar las capacidades que se generan en ese ámbito. Adicionalmente, la compañía ha implementado convenios con instituciones académicas para el desarrollo de competencias laborales.

Ecopetrol también ha desarrollado alianzas, para la formación de científicos-doctores, con las universidades de Oklahoma, de Stanford, de Texas, Tulsa, Edimburgo, con el Instituto Tecnológico de Massachusetts, el Instituto Alberto Luiz Cohimbra, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Industrial de Santander, la Fundación Universitaria de América, la Universidad de Antioquia, con el Instituto Colombianos de Geología y Minería, entre otros (Ecopetrol, 2008).

Durante el periodo 2001-2007 el número de personas vinculadas al ICP estuvieron en constante disminución, pero a partir de 2008 la nómina empezó a crecer; al cierre de 2009 el ICP contaba con 193 investigadores, contratados directamente por Ecopetrol, 20 doctores, 92 maestros, 23 especialistas y 58 más entre técnicos y pasantes, más otros 700 contratistas, que se dedicaron a actividades de menor valor agregado para Ecopetrol; en el área de catálisis, para 2009, trabajaron alrededor de 30 personas, el 66% fueron contratistas dedicados a actividades de apoyo (Entrevista a personal del área de Catálisis-Ecopetrol, Mayo de 2010).

Al igual que Petrobras, otra herramienta que tiene Ecopetrol para asegurar la calidad de sus recursos humanos es la universidad corporativa; en Febrero de 2007 entró en funcionamiento la Universidad Corporativa de la compañía, que tiene como sede el Instituto Colombiano del Petróleo. La universidad ofrece una oferta de capacitación conformada por 140 cursos dictados por instructores internos en temas exclusivos del

petróleo y gas, así como la forma de operar los campos de producción y las refinerías; la infraestructura de 2.500 metros cuadrados dotada con una moderna tecnología de comunicaciones en su primer año de operaciones arrojó como balance 107 mil horas hombre de instrucción dirigida, con una cobertura de 3.773 personas (Ecopetrol, 2010). La universidad corporativa le sirve a Ecopetrol para reforzar algunos conocimientos básicos de sus trabajadores, así como para ayudarles a construir capacidades tecnológicas donde más lo necesita la compañía.

4.2.2.3 Infraestructura disponible para actividades de I+D

Las actividades de investigación de Ecopetrol se desarrollan en el Instituto Colombiano del Petróleo, este tiene a su disposición 30 plantas piloto y 20 laboratorios altamente especializados, 11 laboratorios están destinados para el área de exploración y producción y los otros 9 para el área de refinación y transporte; el ICP dispone de un área de 30 hectáreas con 35.014 metros cuadrados construidos, para prestar servicios técnicos a proyectos de desarrollo tecnológico y de investigación en el área de Refinación y Transporte de petróleo y derivados, mediante la realización de pruebas en unidades piloto. También cuenta con plantas para combustión, donde evalúa nuevos combustibles y mezclas a escala piloto. 17 de sus laboratorios se encuentran acreditados por la Superintendencia de Industria y Comercio, cuatro están avalados por el Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM); el Centro de Información Técnica (CIT) del ICP fue la primera unidad de información especializada en Colombia y Latinoamérica en recibir la certificación del Sistema de Gestión de la Seguridad de la Información.

Dentro de las plantas piloto dispuestas para el área de refinación se encuentran: a)la Unidad Planta Piloto FCC – Zeton, para ejecutar procesos de ruptura catalítica fluidizada bajo condiciones similares a las unidades comerciales; b) la Unidad Planta Piloto CPS/SDU – Zeton, para desactivar catalizadores frescos e impregnados, buscando simular los catalizadores de equilibrio; c) el Laboratorio de Catálisis, que ofrece servicios técnicos en las áreas de caracterización físico-química, evaluación, selección de catalizadores y pruebas en planta piloto de cracking, y apoya los proyectos de investigación y desarrollo relacionados con procesos de transformación catalítica; y d) otras plantas pilo para

desparafinado de bases lubricantes, Coquización, hidrotratamiento, viscoreducción y pirolisis (Ecopetrol, 2010).

Sus plantas piloto tienen capacidad para realizar diferentes tipos de pruebas como: Área superficial, desactivación hidrotérmica de catalizadores, microactividad catalítica, ensayos de actividad catalítica, impregnación de catalizadores, desactivación de catalizadores, caracterización y evaluación de catalizadores y caracterización y evaluación de crudos, entre otras. Adicionalmente, durante 2009 se adquirieron las plantas pilotos de destilación molecular, la unidad de destilación continua, y la de delay coking, que soportarán el desarrollo de los planes maestros de las refinerías (Ecopetrol, 2010).

El ICP actualmente es una de las cinco organizaciones latinoamericanas especializadas en el desarrollo y aplicación de la ciencia y tecnología al petróleo, el gas, y más recientemente a todo tipo de energía. Durante el 2009, la aplicación de soluciones tecnológicas desarrolladas por el ICP en coordinación con las unidades operativas de Ecopetrol, se tradujeron en beneficios económicos para la compañía avaluados en US$ 385.7 millones (Ecopetrol, 2010). En este año el ICP cumple 25 años de estar sirviendo para la industria petrolera de Colombia y de Ecopetrol.

4.2.2.4 Producción de nuevo conocimiento (medido a través de patentes)

En Colombia la decisión 486[82] de la Comisión de la Comunidad Andina (CAN) del año 2000 regula los diferentes elementos sobre la propiedad industrial en el país, y en general en los países miembros de la comunidad[83]. Para el caso de la producción de conocimiento de Colombia se hará el análisis de las patentes sobre catalizadores para refinar petróleo que le han sido concedidas a Ecopetrol, por parte de la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC).

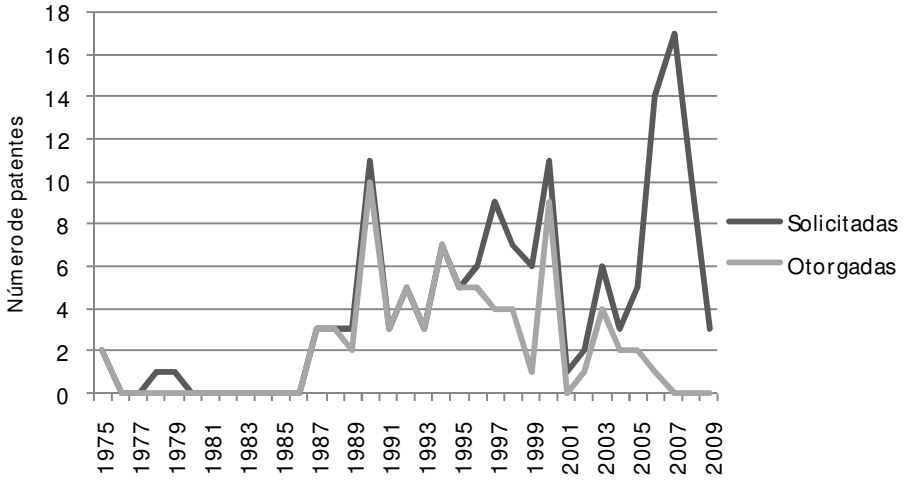
El periodo de análisis de las patentes fue de 1975 a 2009. De aquí en adelante se hará mención a la base de datos de las patentes con el nombre de *Basecatalizsic* y cuando

[82] Para más información sobre la ley consúltela en la página web: http://www.comunidadandina.org/normativa/dec/D486.htm

[83] Los países miembros de la Comunidad Andina son: Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú; para más información sobre la CAN véase la página web: http://www.comunidadandina.org/index.htm.

se hable de catalizadores se estará haciendo referencia solamente a los catalizadores utilizados en la industria de la refinación del petróleo. Durante el periodo de estudio se solicitaron ante la SIC 147 patentes sobre catalizadores, de las cuales se otorgaron 76[84]; la superintendencia concedió en promedio 3 patentes, de las 6 solicitadas por año; en promedio el 50% de estas solicitudes fueron aprobadas.

Figura 4.12 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Colombia (1975-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Basecatalizsic.

A partir de la figura 4.12 se observa una tendencia creciente de 1975 a 1989, de las patentes solicitadas y otorgadas sobre catalizadores; a partir de 1990 se da una gran disminución que no logra reponerse rápidamente durante los siguientes cuatro años; en general las patentes solicitadas y otorgadas, en materia de catalizadores, han tenido un comportamiento similar, la brecha ha sido relativamente pequeña, a excepción del periodo 1996-1998 donde el otorgamiento fue muy bajo en relación con el número de solicitudes. En el año 2000 las patentes solicitadas sobre catalizadores se duplicaron y las otorgadas crecieron 800% en relación con el año inmediatamente anterior; este comportamiento no fue constante y nuevamente presentó una disminución en 2001. El crecimiento del número de solicitudes

[84] Véase Anexo Cuadro 4.3 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Colombia (1975-2009), por periodo.

de patente, en materia de catalizadores para refinar petróleo, señala el potencial que ven los agentes que pertenecen a esta industria para producir y proteger su nuevo conocimiento en Colombia.

Aunque Colombia no tiene el potencial que tiene Brasil, ni el de México, si representa un mercado interesante para las grandes compañías; el hecho de que no se tengan grandes capacidades en el país refleja la necesidad que tiene este de realizar importaciones o de crear proveedores locales, lo cual podría ser una ventaja o potencial amenaza para los competidores actuales.

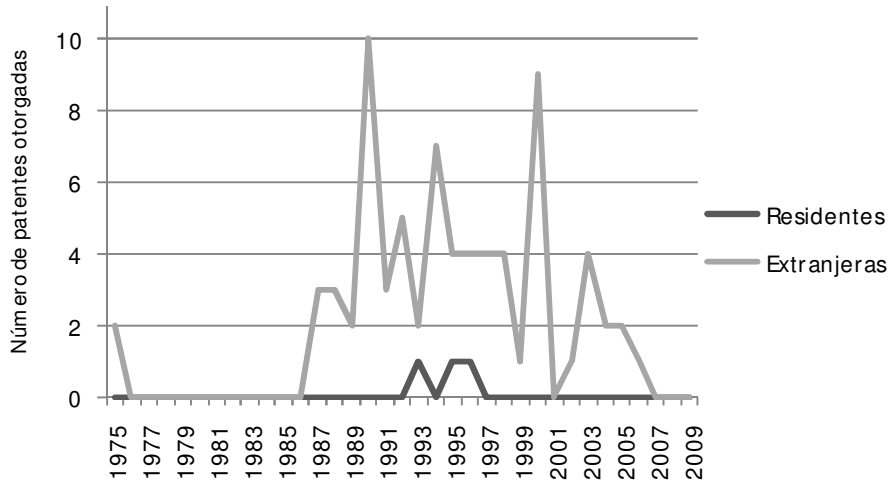
En promedio la tasa de concesión de las patentes sobre catalizadores presentadas ante la SIC para el periodo analizado fue de 52%, lo cual indica que de cada 10 de estas solicitudes de patente se otorgaron 5. Las tasas de concesión más altas han sido las de los años 1975, 1987, 1988 y el periodo 1991-1995, cuando fue del 100%.

Cinco organizaciones colombianas, durante el periodo analizado, presentaron 12 solicitudes de patente, sobre catalizadores, ante la SIC: Ecopetrol, Empresa Nacional Minera, Energía Andina, Universidad de Antioquia y Universidad Nacional de Colombia; del total de patentes solicitadas se les otorgó el 25%. Ninguna de las firmas colombianas que presentó esas solicitudes de patente tiene como misión producir catalizadores para refinar petróleo, esto nuevamente da evidencia del poder de mercado que tienen las firmas extranjeras en el mercado colombiano. Solamente el 8% de las solicitudes, sobre catalizadores, presentadas ante la SIC provienen de empresas residentes, en el caso de las patentes otorgadas representan apenas el 4% del total; su tasa de concesión fue de 12% en promedio.

En materia de catalizadores, las empresas extranjeras han presentado 135 solicitudes de patente ante la SIC, de las cuales se les ha otorgado el 54%, porcentualmente es más del doble de lo que se le otorga a residentes, pero en términos absolutos es 24 veces mayor. Las empresas extranjeras han presentado en promedio 3 patentes por año; durante el periodo de 1990 a 2000 el comportamiento de esas solicitudes fue relativamente estable, el número máximo de solicitudes por año fue de 11; para el año 2001 el número de solicitudes se redujo considerablemente, aunque ha tendido a crecer en los años siguientes; la tasa de concesión de patentes sobre catalizadores otorgadas a empresas extranjeras fue de 42.3% en promedio. La propensión de las firmas extranjeras, productoras de catalizadores, a patentar

en Colombia se ve estimulada por la escasa existencia de competidores nacionales; los grandes productores de catalizadores saben que en Colombia aun no se tienen las capacidades para producir endógenamente los catalizadores y por eso ven esto como una oportunidad para apoderarse de ese mercado, en realidad no compiten con proveedores nacionales sino con otros proveedores extranjeros.

Figura 4.13 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Colombia, a residentes y extranjeros (1975-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la *Basecatalizsic*.

La brecha entre patentes, sobre catalizadores, otorgadas a empresas residentes y extranjeras ha sido bastante amplia a lo largo del periodo; las patentes otorgadas a empresas residentes son en promedio el 3% de lo que se le otorga a empresa extranjeras; solamente durante 1993 y 1996 se redujo la diferencia, las patentes otorgadas a residentes llegaron a representar el 25% de las otorgadas a firmas extranjeras (Véase la figura 4.13).

Las empresas a la que la SIC les otorgó el mayor número de patentes sobre catalizadores, durante el periodo de análisis, fueron *Shell International* y *The Dow Chemical* quienes obtuvieron 9 patentes, cada una, que representan el 12.16% de las patentes otorgadas en este campo; en el tercer lugar se encuentra *Phillips Petroleum* con 7 patentes otorgadas y 9.46% de participación, le siguen *B.P. Chemicals* y *Union Carbide Chemicals* con 6 y 5 patentes otorgadas respectivamente, que representan el 8.11 y el

6.76% respectivamente de participación en el total de otorgadas en este campo[85]. Estas cinco empresas concentran el 48.7% de las patentes otorgadas; si se suman las 10 primeras empresas se tiene el 63.51% del total, lo que refleja una fuerte concentración del mercado en unas cuantas empresas (al igual que en el caso de Brasil); cada una de las restantes 26 empresas solo tiene una patente otorgada en este ramo.

Cuadro 4.5 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Colombia, clasificadas por países (1975-2009)

País	*P. Otorgadas*	*N° Empresas*	*Participación %*
Estados Unidos	43	19	58.1
Holanda	10	2	13.5
Reino Unido	10	5	13.5
Alemania	5	4	6.8
Colombia	3	3	4.1
Otros*	3	3	4.1
Total	*74*	*36*	*100*

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Basecatalizsic.*

* Italia, Francia y Venezuela; cada uno de ellos con una patente.

A partir del cuadro 4.5 se puede ver la concentración del mercado de catalizadores para refinar petróleo en Colombia, los tres países con mayor participación son: Estados Unidos con 43 patentes, correspondientes a 19 empresas; le sigue Holanda con 10 patentes otorgadas, correspondientes a 2 empresas; y en tercer lugar está Reino Unido con el mismo número de patentes que Holanda, pero con 5 empresas; se observa que Colombia ocupa el quinto lugar de acuerdo al número de patentes otorgadas, 3. El 60% de las patentes otorgadas por la SIC, sobre catalizadores, se refieren a catalizadores utilizados en el proceso de FCC, el 17% es sobre mejoras a catalizadores, el 13.3% es sobre tratamiento de

[85] Véase Anexo Cuadro 4.4 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Colombia (1975-2009), por solicitante; el cuadro contiene la lista completa de los solicitantes que tienen al menos una patente sobre catalizadores otorgada por la SIC.

algunos residuos del proceso, el 5.3% es sobre reformación del crudo y el 4% restante es sobre catalizadores para hidrotratamiento.

Ecopetrol tienen en total 25 patentes otorgadas en diferentes países de América y Europa, solamente una de estas patentes es sobre catalizadores pare refinar petróleo. De las 8 solicitudes, sobre catalizadores, que ha presentado Ecopetrol, solo en una ha trabajado en colaboración con la Universidad Nacional de Colombia, el resto de solicitudes las ha trabajado individualmente y han sido el resultado de sus actividades de I+D. El 50% de las patentes, sobre catalizadores, presentadas por Ecopetrol se refieren a mejoras en catalizadores ya existentes o en procesos catalíticos, el 25% es sobre catalizadores utilizados en el proceso FCC y el restante 25% es sobre tratamiento de residuos. El grupo de investigadores de Ecopetrol que ha participado al menos en una solicitud de patente, en materia de catalizadores, está conformado por 26 inventores, 19 hombres y 7 mujeres; 13 de los inventores han participado en dos solicitudes de patente, los otros 13 solo han participado en una.

Ecopetrol hasta 1993 hacia investigación básica sobre catalizadores, después de esta fecha se ha especializado en la producción de nuevo conocimiento sobre trampas para capturar vanadio[86], y otros metales, con el propósito de mejorar el rendimiento de los catalizadores utilizados (Entrevista a personal del área de Catálisis-Ecopetrol, Agosto de 2009). La compañía ha desarrollado las capacidades tecnológicas para seleccionar los mejores catalizadores del mercado, y luego aplicarles el aditivo e incrementar su rendimiento, obteniendo así mejores resultados. Por lo tanto, el conocimiento que protege Ecopetrol, a través de patentes, es en su mayoría sobre aditivos para catalizadores, particularmente sobre trampas de vanadio; en el apartado Escalamiento, Producción y Venta se explicará más sobre los aditivos que utiliza Ecopetrol en los catalizadores que emplea en sus refinerías.

[86] La trampa de vanadio es un aditivo que captura dicho metal para preservar la actividad y selectividad de los catalizadores de ruptura catalítica. El vanadio, presente en las cargas de crudo, envenena y destruye los componentes del catalizar utilizado en el proceso, disminuyendo sus actividades y los rendimientos de los productos derivados (Entrevista a personal del área de Catálisis-Ecopetrol, Agosto de 2009).

4.2.3 Escalamiento, Producción y Venta

Esta es la tercera fase del proceso de producción de los catalizadores; el objetivo de analizar esta etapa es encontrar las alianzas y mecanismos que ha empleado Ecopetrol para suplir su demanda de catalizadores; en esta etapa también se evalúan las capacidades de Ecopetrol para realizar la prueba piloto e industrial a los catalizadores que desarrolla en sus centros de investigación.

4.2.3.1 Realización de la prueba piloto e industrial

Ecopetrol a través del Instituto Colombiano del Petróleo cuenta con laboratorios de catálisis, donde se ofrece servicios técnicos especializados en las áreas de caracterización físico- química, evaluación, selección de catalizadores y pruebas en Planta Piloto, dando apoyo a los proyectos de investigación y desarrollo relacionados con procesos de transformación catalítica (Ecopetrol, 2010). Aunque la compañía puede realizar la prueba piloto de los catalizadores, no puede realizar la prueba industrial; Ecopetrol no cuenta con las capacidades tecnológicas para probar los catalizadores a una escala industrial, principalmente porque no dispone de una refinería que esté disponible para este tipo de pruebas, y porque no tienen los recursos necesarios para contratar el servicio con otra empresa especializada.

Ante la incapacidad de la realización de la prueba industrial Ecopetrol ha disminuido sus actividades de I+D en el desarrollo de nuevos catalizadores, y se ha especializado en evaluar y seleccionar los mejores catalizadores disponibles en el mercado. Ecopetrol se ha convertido en un experto en selección de catalizadores; de acuerdo con las características y resultados de los catalizadores (probados a nivel de planta piloto) los investigadores del ICP seleccionan los mejores catalizadores y les añaden un aditivo que genera rendimientos aun mejores; los aditivos que Ecopetrol le agregan a los catalizadores, que compra, son fruto de las actividades de I+D de sus investigadores (Entrevista realizada a personal del área de Catálisis-Ecopetrol, Agosto de 2009). Ecopetrol tiene las capacidades tecnológicas para realizar mejoras incrementales a catalizadores desarrollados por otras compañías y que están disponibles en el mercado.

4.2.3.2 Empresas nacionales productoras de catalizadores

En Colombia no existen ni han existido empresas productoras de catalizadores para refinar petróleo, esto ha provocado que Ecopetrol busque a sus proveedores en el extranjero; en Colombia no se cuenta con las capacidades tecnológicas para poner en marcha una compañía que se dedique a la producción de este tipo de catalizadores; una compañía de estas necesita una fuerte inversión de recursos, además que este es un mercado que está dominado por unas cuentas empresas y esto hace que sea más dificil la entrada; además que el proceso de aprendizaje de la nueva compañía implicará costos y errores en los primeros años.

Como ya se mencionó en el apartado sobre las capacidades de Brasil, la Fábrica Carioca de Catalisadores S.A. (FCCSA) es el único proveedor de catalizadores para refinar petróleo a nivel suramericano que está operando actualmente. La compañía Fomento de Catalizadores Ltda. (FOCALTDA) opera en Colombia como representante de la FCCSA para proveer catalizadores para las unidades de FCC de las refinerías de Ecopetrol; asimismo FOCALTDA es representante de la compañía ALBEMARLE para proveer catalizadores para hidrotratamiento a las refinerías de Ecopetrol (FCCSA, 2010). En el siguiente sub-apartado se explica más sobre los proveedores de Ecopetrol, en materia de catalizadores para refinación de petróleo.

4.2.3.3 Catalizadores desarrollados y empleados

Como se mencionó en el sub-apartado anterior, Ecopetrol no ha desarrollado catalizadores propios para refinar petróleo, sus invenciones se dirigen a aditivos para mejorar el rendimiento de los catalizadores que compra a firmas extranjeras especializadas en la industria; por lo tanto no hay catalizadores de Ecopetrol que sean utilizados actualmente.

Para cubrir su necesidad de catalizadores Ecopetrol se suple de los productos desarrollados por proveedores internacionales; para el proceso de cracking catalítico Ecopetrol cuenta en total con tres proveedores de catalizadores: Basf[87], Grace Davison y

[87] Basf en 2006 adquirió a Engelhard, actualmente es la mayor adquisición de la compañía (basf.com, 2010).

Albemarle[88], cada uno de ellos le suministra un tipo de catalizador; para el proceso de hidrotratamiento Ecopetrol cuenta con tres proveedores también: Criterion, Albemarle y Haldor Topsoe, cada uno de ellos le suministra un catalizador.

4.2.3.4 Alianzas con firmas productoras especializadas

Hasta finales de 2009 Ecopetrol no había realizado ninguna alianza con sus proveedores de catalizadores; la petrolera se había limitado a seleccionar y comprar los catalizadores que le generan un mejor resultado, y una vez que los había adquirido les incorporaba el aditivo que había desarrollado (Trampa de Vanadio) para llevarlos posteriormente a sus refinerías, para ser utilizados en los diferentes métodos de refinación, principalmente en FCC e Hidrotratamiento.

Actualmente Ecopetrol ha empezado a establecer alianzas con las compañías Grace Davison, Albemarle y UOP para trabajar conjuntamente en la producción de nuevos catalizadores.

1. La alianza que se establecerá con Grace Davison es para producir conjuntamente un nuevo catalizador; Grace Davison desarrollará el catalizador, de acuerdo a las necesidades del crudo colombiano, y Ecopetrol desarrollará el aditivo, para que al final del proceso el catalizador ya tenga incluido el aditivo; la prueba de este nuevo catalizador se pretende realizar durante el segundo semestre de 2010.
2. Las alianzas que piensa establecer Ecopetrol con Albemarle y UOP serán para desarrollar conjuntamente procesos de refinación (Entrevista a personal del área de Catálisis-Ecopetrol, Mayo de 2010).

La sinergia entre Ecopetrol y las grandes productoras de catalizadores permitirá producir innovaciones incrementales tanto en catalizadores como en procesos de refinación; al final del proceso se contará con catalizadores mejorados, coproducidos, que generan mejores

[88] Albemarle en 2004 compró el negocio de catalizadores de Akzo Nobel; Albemarle vende sus catalizadores a Ecopetrol a través de la compañía Fomento de Catalizadores Ltda.

resultado en el proceso de refinación. Además Ecopetrol podrá adquirir habilidades y construir capacidades tecnológicas a partir de estas alianzas.

4.3 México

A continuación se presentan las capacidades tecnológicas de México, el tercer país analizado en esta investigación. Al igual que en los casos anteriores se expondrán las capacidades existentes en cada fase del proceso de producción, empezando por la fase de *Demanda del catalizador*, seguido de la fase de *Investigación y Desarrollo*, y para terminar, se presenta la fase de *Escalamiento, Producción y Venta*.

4.3.1 Demanda del catalizador

Esta es la primera fase del proceso de producción de los catalizadores, en esta fase se trata de exponer las capacidades que tiene México para suplir su demanda de petróleo crudo, también se señala la capacidad instalada que tiene en sus refinerías y que le permite procesar el crudo producido; además se muestra la balanza comercial del país, tanto para petróleo crudo como para derivados.

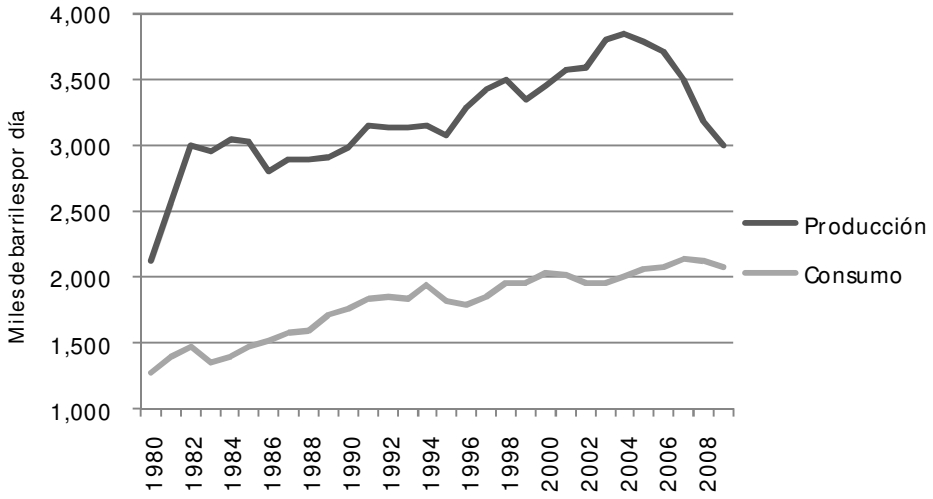
4.3.1.1 Consumo, producción y reservas nacionales de petróleo

La producción de petróleo en México siempre ha sido mayor que su consumo de petrolíferos, esto le ha permitido mantener sus reservas y destinar una parte de su producción a las exportaciones. En promedio la diferencia entre consumo y producción ha sido de 1,403 mbd; la producción de petróleo es 1.8 veces más grande que su consumo, en promedio. A partir de 1983 se muestra un crecimiento considerable de la producción, esta se ha mantenido con una tendencia creciente durante los siguientes 20 años, aunque se han presentado pequeñas disminuciones, las cuales son consecuencias de ajustes en las actividades de explotación (Véase la figura 4.14). A partir del 2005 se observa una disminución en la producción, debida a la disminución de las reservas de petróleo en los yacimientos mexicanos; la producción de petróleo durante 2006 registró una disminución

de 2.3% respecto a la obtenida en el año inmediato anterior, lo que equivale a una reducción de 77.7 mbd en la plataforma de producción (SENER, 2007). El 88% de la producción de petróleo en México es petróleo crudo, el 12% restante son líquidos de gas natural, como etano, propano, butano y otros (EIA, 2010).

En México el crudo pesado es el de mayor aportación a la producción nacional, su participación representó el 68.9% de la producción total a nivel nacional en 2006 (SENER, 2007). En cuanto al consumo de petrolíferos, este no ha tenido una gran variación dentro del periodo analizado, también muestra una tendencia creciente y moderada. El crudo ligero es el de mayor demanda por parte de las refinerías mexicanas, después está el crudo pesado, y el de menor demanda es el súper ligero (SENER, 2007).

Figura 4.14 México, Producción vs consumo de petróleo (1980-2008)



Fuente: Elaboración propia con datos de la EIA (2010).

Las reservas probadas de petróleo crudo en México han sido de 35.56 billones de barriles en promedio; hasta 1999 el promedio de las reservas probadas eran de 50 billones de barriles pero a partir del 2000 se redujeron considerablemente las reservas, llegando a un promedio de 18 billones de barriles, esto se debió al aumento de la producción de petróleo durante esos años.

4.3.1.2 Capacidad instalada para el procesamiento de petróleo (Refinerías)

El Sistema Nacional de Refinación (SNR) de México cuenta con 6 refinerías, con una capacidad total de refinación de 1,540 mbd. En los 10 últimos años Pemex Refinación ha desarrollado diversos proyectos estratégicos a fin de generar una infraestructura que le permita adecuar la oferta de petrolíferos con las características establecidas por la normatividad ambiental y las nuevas tecnologías vehiculares que son usadas mundialmente; durante el periodo 1996-2007 la capacidad instalada, por tipo de proceso, en el Sistema Nacional de Refinación (SNR) tuvo diversos incrementos: aumentó la capacidad del proceso de hidrodesulfuración, como resultado de la política de elaboración de combustibles con menor contenido de azufre; se incorporaron coquizadoras en dos refinerías (Madero y Cadereyta), para incrementar la obtención de destilados provenientes de los residuos de vacío así como el procesamiento de una mayor proporción de crudo pesado (SENER, 2007). Estos proyectos han permitido que el país tenga la capacidad de procesar mayores cantidades de crudo, lo cual se refleja en balanza comercial de derivados al disminuir sus importaciones de productos refinados. A continuación en el cuadro 4.6 se presenta la capacidad instalada por refinería y el volumen procesado por cada una de estas durante 2008.

Cuadro 4.6 México, Capacidad instalada y volumen procesado por refinería (2008)

Refinerías	*Capacidad Instalada (mbd)*	*Volumen Procesado (mbd)*	*Utilización (%)*
Salina Cruz	330	272	82.4
Tula	315	289	91.7
Cadereyta	275	210	76.4
Salamanca	245	188	76.7
Madero	190	141	74.2
Minatitlán	185	170	91.9
Total	*1540*	*1270*	*82.5*

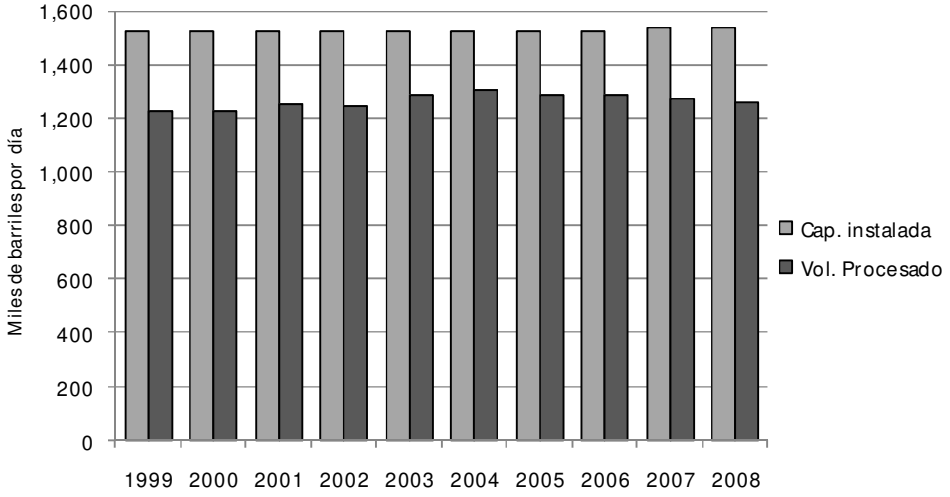
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SENER (2008).

Adicional a las seis refinerías mencionadas, Pemex tiene una refinería en asociación con Shell Oil Co, Refinería de Deer Park en Houston Texas; la refinería tiene una capacidad de producción de 180 mil barriles de gasolina diarios (SENER, 2008).

El porcentaje de utilización de las refinerías para 2008 fue del 81.9%, esto quiere decir que solo se procesaron 1,261 mbd de los 1540 que se habrían podido procesar, esto representa una disminución del 0.6% respecto a lo procesado en 2007; estas disminuciones están asociadas con el mantenimiento que se realiza a las refinerías, algunos deliberados y otros emergentes. Los retos que se tienen planeados para el SNR son: ampliar la capacidad de distribución y almacenamiento de productos petrolíferos, ampliar los sistemas de carga y descarga, y poner en operación una nueva refinería hacia 2015 (SENER, 2008). El propósito de México es incrementar su capacidad de refinación para aumentar sus exportaciones de productos refinados, que comercialmente tienen mayor valor que el petróleo crudo.

Los procesos que se llevan a cabo en las refinerías de Pemex son: Coquización, reducción de viscosidad, reformación de naftas, desintegración catalítica, hidrodesulfuración, destilación atmosférica y alquilación e isomerización. El crudo ligero es el que más se procesa en las refinerías, luego está el crudo pesado y el último es el crudo súper ligero y otros insumos (SENER, 2007).

Figura 4.15 México, Histórico de la capacidad instalada vs. volumen procesado por las refinerías (1999-2008)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SENER (2008) y PEMEX-Refinación (2008).

Como se observa en la figura 4.15 el volumen de petróleo procesado en las refinerías siempre ha sido menor a la capacidad instalada de las mismas, esto se debe a el mantenimiento que se hace en las refinerías y a los cambios en la explotación de los yacimientos. La producción de petrolíferos está supeditada a la disponibilidad real de los equipos, así como a la estabilización y optimización de los procesos, mantenimientos no programados y desempeño operativo, lo cual influye en los volúmenes procesados. En 2007 la producción de petrolíferos tuvo la siguiente distribución: Gasolinas 30%, Diesel 22%, Combustóleo 20%, Gas licuado 15% y Otros derivados 13% (Pemex, 2008).

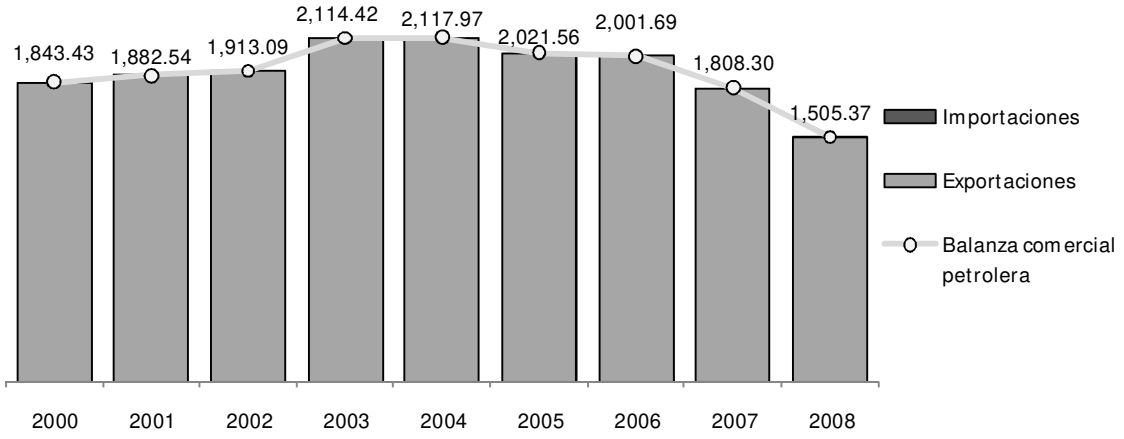
La capacidad instalada de las refinerías pasó de 1,525 a 1,540 mbd en todo el sistema de refinación en 2007, esto se debió a que las naftas obtenidas de la destilación atmosférica presentan bajos octanajes y requieren procesos que incrementen el número de octanos en las mismas, uno de los que sirve a este fin es la reformación; mediante este proceso es posible modificar la estructura química de los compuestos que conforman las gasolinas, produciendo reacciones que generen aromáticos e isoparafinas de mayor número de octanos; por lo tanto la capacidad de reformación se incrementó 73 mbd (SENER, 2008).

4.3.1.3 Balanza comercial petrolera

La balanza comercial petrolera de México, al igual que en el caso de Brasil y Colombia, se presenta en dos partes, primero para el petróleo y posteriormente para los derivados del petróleo. La balanza comercial de petróleo es 100% positiva, México no importa petróleo crudo de ninguna región del mundo, es autosuficiente para cubrir su consumo de crudo. Como se muestra en la figura 4.16 de 2000 a 2008 se exportaron en promedio 1,902 mbd; durante 1996-2006, la mayor proporción de crudo mexicano que se destinó a exportación fue de tipo Maya (crudo pesado), las exportaciones de este tipo de crudo representaron 83.3% del total de crudo exportado en el país; el crudo Olmeca (súper ligero), ocupa el segundo lugar en cuanto a volumen de exportación, esto se debe a la baja demanda de este crudo por parte de las refinerías mexicanas. El principal consumidor del petróleo crudo mexicano que se exporta es Estados Unidos, quien importa el 87% del total. Las

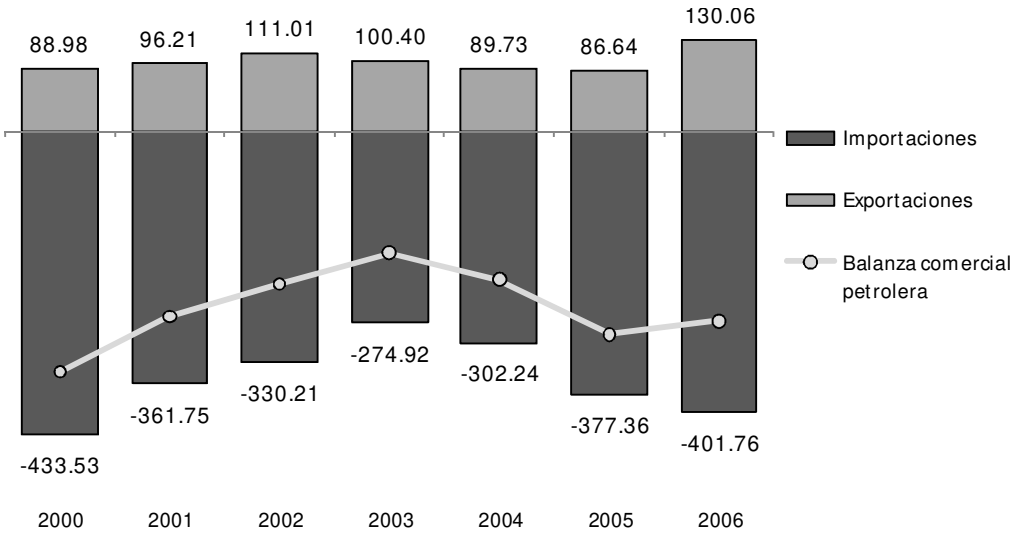
disminuciones en las exportaciones son consecuencia de las disminuciones en la producción y de las variaciones en los precios internacionales.

Figura 4.16 México, Balanza comercial de petróleo (2000-2008), miles de barriles por día



Fuente: Elaboración propia a partir de EIA (2010).

Figura 4.17 México, Balanza comercial de derivados de petróleo (2000-2006), miles de barriles por día



Fuente: Elaboración propia a partir de EIA (2010).

En el caso de la balanza comercial de los productos derivados del petróleo, México realiza importaciones por 354.54 mbd y exporta 100.43 mbd, en promedio; debido a que sus importaciones son mayores que sus exportaciones el país presenta una balanza negativa. Desde 2001 y hasta 2003 las importaciones de derivados se redujeron como consecuencia del aumento en la producción, gracias a la conclusión de los proyectos de reconfiguración y la entrada en operación de las plantas coquizadoras en Madero y Cadereyta (SENER, 2007). A partir de 2004 nuevamente se incrementaron las importaciones llegando hasta 401.76 mbd, esto se debió en parte al incremento en el consumo de petrolíferos.

México tiene una posición débil respecto al comercio internacional; el país importa productos derivados que son el resultado del proceso de refinación aplicados al crudo que él mismo exportó. Está vendiendo crudo para luego comprarlo refinado a un mayor valor. El país debe incrementar sus capacidades de refinación para exportar productos refinados en vez de crudo, los productos refinados generarían mayores ingresos.

4.3.2 Investigación y Desarrollo

Esta es la segunda fase del proceso; aquí se describirán las capacidades que tiene México respecto a infraestructura, capital humano y gasto disponible para actividades de I+D, particularmente para el área de catálisis. Esta agrupación de los indicadores se realizó de acuerdo a la clasificación que hace Nelson (1981) para las capacidades tecnológicas.

Es necesario tener en cuenta que las actividades de I+D que se describen de aquí en adelante son las realizadas por el Instituto Mexicano del Petróleo y no por Pemex; esto se debe a que el IMP es la institución que se dedica a las actividades de I+D de Pemex; se hace la aclaración porque el IMP es un organismo externo a Pemex y tiene autonomía para la toma de decisiones[89], no sucede como en los casos de Brasil y Colombia, donde el instituto de investigación pertenece a la empresa petrolera.

[89] En el capítulo anterior se explicaron las principales características del IMP, así como su relación con Pemex.

4.3.2.1 Gasto en Investigación y Desarrollo (I+D)

El gasto que destina el IMP para actividades de I+D oscila entre 700 y 950 millones de pesos anuales; el 50% de lo que gasta el instituto es recibido a través de la Ley Federal de Derechos, el otro 50% tiene que ser generado de las operaciones propias (IMP, 2010). Por la ley de Derechos Pemex transfiere al IMP recursos para las actividades de I+D, esta ley se planteó desde que se creó el IMP, porque el objetivo del instituto es servir a Pemex como su brazo tecnológico, el instituto es el encargado de realizar las actividades de I+D de la petrolera mexicana.

Durante el periodo 1973-2001 la mayor parte del gasto del IMP se destinaba al área de servicios tecnológicos y técnicos, 44%, el área de administración y Finanzas consumía el 28% del gasto del instituto, el área de capacitación el 14% y el área de investigación y desarrollo solamente consumía el 8% del gasto (Soria, 2004).

Cuando se creó el IMP, sus objetivos estaban alineados con los de Pemex, esta situación era cómoda para el IMP porque Pemex se encargaba de pagar todo lo que necesitaba y utilizada el instituto; durante este periodo, 1976-1998, existía una sinergia entre los dos agentes y se podían ejecutar grande proyectos, gracias a que había una interconexión efectiva. Como ya se mencionó en el capítulo 3, después de 1998 la relación de Pemex y el IMP se entorpeció y llegó a ser mínima, Pemex empezó a buscar otros proveedores que tenían más capacidades y podían ofrecer un mejor precio por sus servicios. Esta desvinculación ocasionó que el IMP en el largo plazo redujera significativamente sus inversiones en actividades de I+D; desde 1999 y hasta 2004 el IMP mantuvo sus inversiones, pero a partir de 2005 tuvo que reducir su gasto porque empezaron a extinguirse los recursos que le quedaban para este tipo de actividades; esta disminución en las inversiones también ha ocasionado un retraso en el instituto. A partir de 2007 se empezaron a restablecer los vínculos entre los dos agentes, nuevamente el IMP está trabajando en dirección a los objetivos de Pemex, principalmente en las áreas de explotación y exploración; se espera que a partir de estos acuerdos el país vuelva a aprovechar las capacidades construidas.

Otra fuente de ingresos que tiene el IMP para destinar a actividades de I+D, a parte de los ingresos por sus operaciones y de la Ley de derechos, son los fondos Sener-Conacyt; estos fondos son un fideicomiso creado para atender las principales problemáticas y

oportunidades en materia de hidrocarburos a través del desarrollo de tecnología y la formación de recursos especializados (Conacyt, 2009). El IMP para obtener dinero de estos fondos debe presentar proyectos novedosos y concursar por el financiamiento.

Pemex Exploración y Producción (PEP) está obligado al pago anual del derecho para la investigación científica y tecnológica en materia de energía, aplicando la tasa del 0.65% al valor anual del petróleo crudo y gas natural extraídos en el año. Hasta el año 2008 el 55% de la aportación de PEP se destina al fondo sectorial Conacyt-Sener-Hidrocarburos; un 35% se destina a al Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del IMP y el 10% restante se destina al fondo Conacyt-Sener-Sustentabilidad Energética. A partir de 2009 esos porcentajes cambiaron quedando 65% para el fondo sectorial Conacyt-Sener-Hidrocarburos; un 20% para el Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del IMP y el 15% restante se destina al fondo sectorial Conacyt-Sener-Sustentabilidad Energética; esto representó una disminución del 15% en los fondos destinados al IMP y para el plan 2010-2012 se reducirán aun más, hasta quedar en el 15% de la aportación total de PEP (Conacyt-Sener, 2008).

En 2006 el IMP gastó 711 millones de pesos en actividades de I+D, en el 2007 el monto aumentó 5%; en el 2008 destinó 774 millones de pesos, de los cuales 213 millones fueron financiados directamente con recursos propios y el resto se obtuvieron de fondos provenientes de las transferencias que el Gobierno Federal hizo al Fideicomiso de Investigación del IMP, en cumplimiento a la Ley Federal de Derechos. Para 2009 la cantidad estimada del gasto en I+D fue de 796 millones de pesos (IMP, 2009).

Cómo se mencionó al principio de este indicador, las inversiones del IMP en actividades de I+D y particularmente en el área de catálisis disminuyeron considerablemente en relación con el periodo en que el instituto estaba trabajando directamente de acuerdo a los objetivos del IMP; fue aproximadamente una década en la que el Instituto se desvinculó de Pemex y disminuyo su participación en los proyectos de la petrolera, asimismo disminuyeron los ingresos proveniente de Pemex hacia el instituto.

Durante el periodo que opero la *Triada innovadora*, 1976-1998, el gasto en I+D del área de catálisis llegó a representar hasta el 24% de lo que gastaba en total el instituto, pero después de este periodo el gasto disminuyó considerablemente (Aboites et al, 2004); en 2009 el gasto en I+D del área de catálisis representó tan solo el 10%, esto se debe

principalmente a que Pemex dejó de financiar proyectos de I+D en materia de catalizadores. Se espera que el gasto aumente ahora que se fortalecieron las relaciones entre Pemex y el IMP; el objetivo principal de la vinculación Pemex-IMP es que el instituto produzca conocimiento tecnológico, servicios y recursos humanos adecuados a las necesidades de la industria del petróleo, que deriven en beneficio económico para los dos agentes (Soria, 2004); aunque actualmente lo que sucede es que existen nuevos agentes que promueven la investigación, como es el caso de los fondos sectoriales proporcionados por el Conacyt (Entrevista a personal del programa de Ingeniería Molecular-IMP, Mayo de 2010).

4.3.2.2 Capital humano dedicado a actividades de I+D

El Instituto Mexicano del Petróleo contaba con 3500 empleados en 2009, 661 de ellos dedicados a actividades de I+D (IMP, 2009). En 2008 habían en total 657 personas asociadas a proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, 170 de los investigadores que habían en 2008 estaban inscritos al SIN: 14% candidatos, 75% nivel I, 9% nivel II y 3% nivel III. Para 2008 habían 231 investigadores con grado de doctor, 126 con maestría y los restantes 300 tenían otros tipos de estudio[90] (IMP-Seminario: Oportunidades de creación de conocimiento para el futuro energético de México, 2008). En el área de catálisis, para 2005, habían 116 personas dedicadas a actividades de investigación y desarrollo tecnológico, 51 de ellos tienen grado de doctor, 24 son maestros y los restantes 41 tienen otro tipo de estudios[91] (IMP- Seminario: Vinculación para la Innovación en la Industria petrolera, 2005). Para 2008 el área de catálisis tuvo, en promedio, 110 investigadores dedicados a actividades de I+D, en proyectos que guardan algún tipo de relación con catalizadores para refinar petróleo; este valor se estimó de acuerdo al número de inventores que ha participado en las patentes sobre catalizadores presentadas por el IMP ante la oficina nacional de propiedad intelectual (IMPI). El número total de investigadores del IMP tuvo una tendencia creciente durante el periodo 1976-1998, esto se debió a que el

[90] El grupo está conformado por técnicos, licenciados, pasantes y auxiliares.
[91] Ibídem.

instituto estaba trabajando en equipo con Pemex; después de 1998, cuando se deterioró la relación entre Pemex y el IMP, el número de investigadores disminuyó considerablemente, esto como consecuencia de la falta de recursos por parte del instituto y por la disminución de los proyectos de investigación; este cambio en las relaciones de Pemex y el IMP también afecto al área de catálisis del instituto, a partir de 2003 el número de investigadores del área se redujo considerablemente, esta reducción fue consecuencia de la eliminación de áreas importantes como las dedicadas a la reformación de naftas (Entrevista a personal del programa de Ingeniería Molecular-IMP, Mayo de 2010).

Al igual que en Brasil y en Colombia, en México el IMP tiene dentro de sus objetivos la formación de recursos humanos especializados; el IMP a diferencia de Petrobras y Ecopetrol no creó un programa para entrenar y fortalecer los conocimientos de sus nuevos trabajadores, sino que desarrolló un posgrado para la formación de recursos humanos, no solo para sus empleados sino en general para la nación. Durante el periodo 1996-2005 el IMP decidió incrementar la masa crítica de investigadores para generar capacidades para investigación y desarrollo tecnológico.

El posgrado del IMP opera como un solo programa con tres niveles: Especialidad, Maestría y Doctorado, pueden ser en ciencias o en ingeniería; a diciembre de 2008 habían en total 69 egresados: 17 doctores, 48 maestros y 4 especialistas. La productividad derivada de las tesis de doctorado, a 2008, se refleja en: 25 artículos en revistas arbitradas, 4 solicitudes de patente, 65 derechos de autor, 3 capítulos en libros y 10 artículos en extenso en memorias de congresos (IMP- Seminario: Vinculación para la Innovación en la Industria petrolera, 2005). El posgrado además cuenta con registro en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC), lo cual confirma la excelencia académica del programa y refleja el potencial que significa para el IMP y en general para México. La planta académica del posgrado está conformada por 258 doctores, 551 maestros y otros investigadores huésped en estancias posdoctorales y sabáticas (IMP, 2009).

Los primeros becarios del posgrado del IMP viajaron al extranjero a realizar estudios de doctorado en Francia; al mismo tiempo, el IMP seleccionó a los mejores estudiantes de licenciatura, de las principales universidades mexicanas, para que se incorporaran al instituto; algunos de estos estudiantes viajaron a Francia, Estados Unidos y otros países Europeos a especializarse en catálisis (Soria, 2004).

La existencia del posgrado del IMP refleja las capacidades tecnológicas con las que cuenta el instituto para la formación de recursos humanos; esta capacidad le permite al instituto contar con el personal necesario para participar en proyectos de investigación y desarrollo y además generar innovaciones. Además con el posgrado el IMP no solo incrementa sus investigadores sino en general todo el recurso humano especializado en el país.

4.3.2.3 Infraestructura disponible para actividades de I+D

En 1966 cuando se construyó el IMP, este contaba con cuatro edificios para labores de investigación y administración distribuidos en más de 18 mil metros cuadrados; durante el periodo de 1982-1988 se inició la descentralización de las actividades del instituto hacia otros puntos del país y se construyó el Parque Industrial La Reforma, que ahora alberga importantes laboratorios (IMP, 2008).

El IMP cuenta con un laboratorio de Plantas Piloto, este laboratorio apoya experimentalmente los servicios técnicos y los proyectos de investigación y desarrollo relacionados con los procesos de refinación y petroquímica, mediante servicios de evaluación de catalizadores, estudios de proceso y caracterización de aceites crudos. Las plantas piloto del instituto comenzaron sus actividades desde la fundación del IMP en 1965, con equipos manuales de destilación; en 1973 había diez plantas para atender procesos de hidrodesulfuramiento y reformación; para 1988 el laboratorio ya contaba con 15 plantas. De 1997 a 2001, mediante un programa de modernización, se compraron cuatro plantas con tecnología de punta y tres equipos de destilación automáticos, toda esta infraestructura de equipo tuvo un costo aproximado de cinco millones de dólares más gastos de adecuación; en 2008 se incorporaron dos nuevas plantas, realizadas con diseño IMP, una de isomerización de parafinas y otra de mejoramiento de crudos pesados, así como un equipo automático de destilación; actualmente el laboratorio tiene 19 plantas piloto y ocho equipos de destilación (Gaceta-IMP 2008).

El laboratorio de Plantas Piloto ocupa una superficie de más de tres mil metros cuadrados, en la que se encuentran las áreas de: a) HDC, cuenta con una planta de hidrotratamiento de gasóleos y una planta hidrodesintegradora de residuales, así como un banco de cuatro reactores autoclaves para la discriminación de catalizadores; b) FCC,

cuenta con plantas FCC, una desactivadora y una hidrotratadora; c) HDS, cuenta con plantas de hidroprocesamiento, de isomerización y de mejoramiento de crudos pesados; d) Sector de destilación, con ocho columnas y plantas de reformación catalítica, así como plantas de regeneración de catalizadores de reformación catalítica; e) Área Externa para manejo de cargas, allí se ubican todas las cargas que se procesan en el laboratorio y las secciones de compresión de hidrógeno, nitrógeno y almacenamiento de cilindros especiales; y f) Talleres mecánico y de instrumentación (Gaceta-IMP 2008). Las principales actividades que se desarrollan en las plantas piloto son: escalamiento de tecnologías, obtención de información para el diseño o ingeniería básica de proceso de unidades industriales, producción de muestras de nuevos productos y desarrollo de procedimientos operativos, analíticos y de control; además presta los siguientes servicios técnicos: apoyo a la evaluación y selección de catalizadores y aditivos, evaluación de los efectos de cambios en las condiciones de operación y cargas, así como el entrenamiento del personal operativo. Adicional a las plantas piloto, el Instituto cuenta con más de 50 laboratorios (Gaceta-IMP, 2008).

Las actividades de Catálisis del IMP iniciaron en el Departamento de Síntesis y Evaluación de Catalizadores de la División de Química; a lo largo del periodo 1967-1974, con la paulatina compra de equipo, instrumentos y materiales, se fue creando la infraestructura mínima para experimentar y evaluar catalizadores; años más adelante la necesidad de contar con capacidad propia para el estudio y desarrollo de catalizadores, llevó a la ampliación de la infraestructura del laboratorio, se adquirieron nuevos y mejores equipos (Soria, 2004). Actualmente el IMP cuenta con 139 mil metros cuadrados de laboratorios, plantas piloto, cubículos, oficinas, auditorios y otros espacios para el desarrollo de sus actividades de I+D (IMP, 2010).

4.3.2.4 Producción de nuevo conocimiento (medido a través de patentes)

En México la última ley de Propiedad industrial entró en vigencia a partir del 27 de junio de 1991; en esta ley se establecen las bases para el ejercicio de las actividades inventivas e industriales en el país; particularmente en el capítulo II del título segundo se trata la legislación de patentes (SICE, 2010). Al igual que en los casos de Brasil y Colombia, la

producción de nuevo conocimiento se medirá a través de las patentes solicitas y otorgadas, en materia de catalizadores para refinar petróleo, al IMP, que es el instituto encargado de realizar las actividades de I+D para la empresa petrolera de México (Pemex).

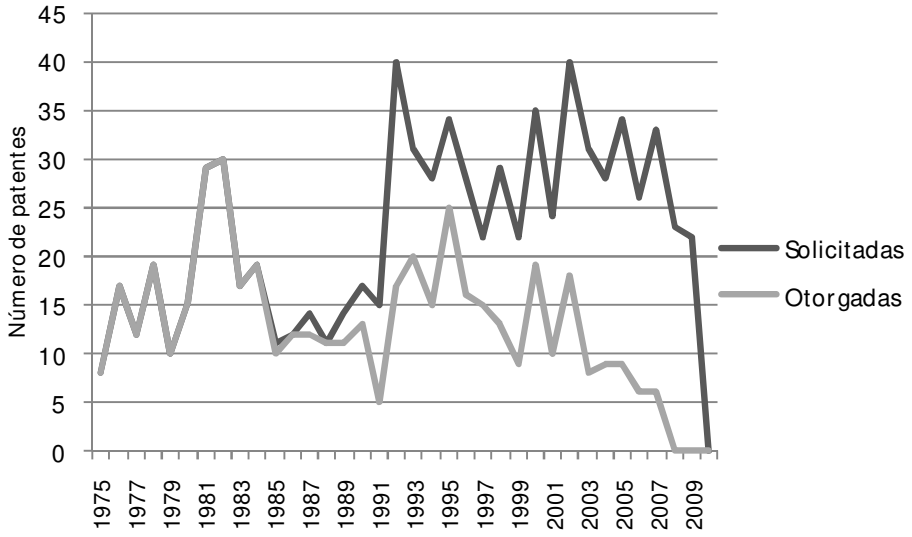
El periodo de análisis de las patentes fue de 1975 a 2009, se analizaron las patentes solicitadas y otorgadas por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), sobre catalizadores utilización en la industria de la refinación. De aquí en adelantes se hará mención a la base de datos de las patentes con el nombre de *Basecatalizmex*, y cuando se habla de catalizadores será específicamente sobre catalizadores para refinar petróleo. Durante el periodo de estudio se solicitaron ante el IMPI 800 patentes sobre catalizadores en total, de las cuales se otorgaron 465[92]; el instituto concedió en promedio 13 patentes, de las 23 solicitadas por año.

Debido a que en la página web del IMPI[93] no están disponibles las gacetas de las solicitudes de patentes presentadas antes de 1984, en la figura 4.18 se pusieron el mismo número de patentes otorgadas y solicitadas, sobre catalizadores, para el periodo 1975-1983; por esto la figura muestra que se concedieron todas las patentes solicitadas durante ese periodo.

En la figura 4.18 Se observa que a partir de 1990 y hasta 1994 se incrementó la brecha entre patentes solicitadas y otorgadas, en materia de catalizadores, durante este periodo se otorgaron en promedio el 54% de las patentes que se presentaron; en 1995 disminuyó la brecha, las patentes otorgadas alcanzaron el 74% de las solicitadas, pero nuevamente a partir de 1998 se incremento dicha brecha, misma que se ha mantenido hasta 2009; en promedio durante la última década del análisis se ha otorgado solamente el 35% de las patentes que se presentan sobre catalizadores.

[92] Véase Anexo Cuadro 4.5 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en México (1975-2009), por periodo.
[93] http://www.impi.gob.mx/

Figura 4.18 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en México (1975-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la *Basecatalizmex*.

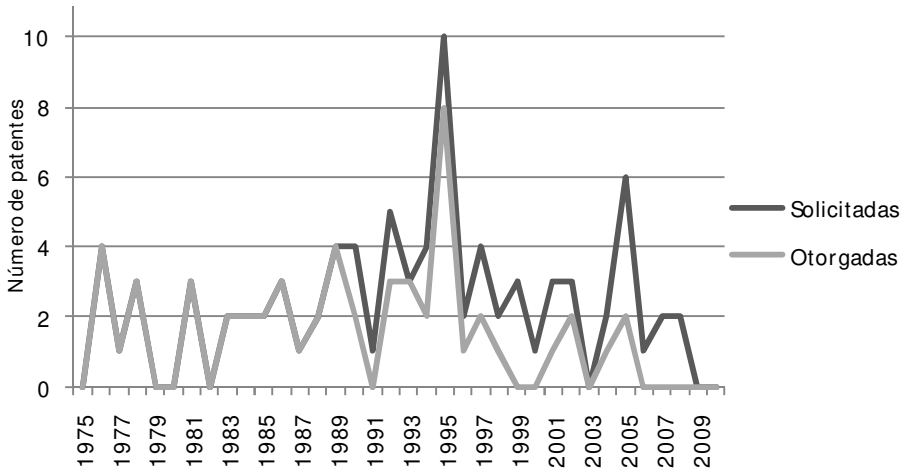
El volumen de patentes sobre catalizadores presentadas ante el IMPI reflejan el potencial y la competencia que existe en la industria de catalizadores para refinar petróleo en México; el hecho de que un gran número de compañías decidan proteger su nuevo conocimiento es el reflejo de que el país sea un fuerte consumidor de catalizadores y que tenga un poder importante dentro del mercado a la hora de seleccionar a sus proveedores. México realiza fuertes inversiones en este campo y eso hace que compañías extranjeras, competidoras, quieran proteger su conocimiento y explotarlo en el país.

Las solicitudes de patente en el IMPI tardan en promedio 4 años en ser dictaminadas, por eso la evolución de las patentes otorgadas, en materia de catalizadores, a partir de 2005 no se reflejan en la figura 4.18. En promedio la tasa de concesión de esas patentes para el periodo analizado fue de 65%, lo cual indica que de cada 10 solicitudes de patente que se presentaron se otorgaron 6. Las tasas de concesión más altas han sido las de los años 1993, 1995 y 1997, que llegaron a ser de 65%, 74% y 68% respectivamente.

Como se observa en la figura 4.19, las solicitudes de patente sobre catalizadores presentadas por empresas residentes tuvieron un gran crecimiento a partir de 1991; 1995 fue el año en que más patentes se solicitaron, 10 en total; luego de este año el número de

solicitudes disminuyó, manteniéndose alrededor de 2 patentes por año. La disminución de estas solicitudes de patentes puede ser consecuencia de la desvinculación del IMP y Pemex, el cambio en las condiciones de interrelación entre estos agentes originó un cambio en las inversiones en I+D, con lo cual también se afectó la producción de nuevo conocimiento y la tendencia a protegerlo.

Figura 4.19 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en México, por empresas residentes (1975-2009)

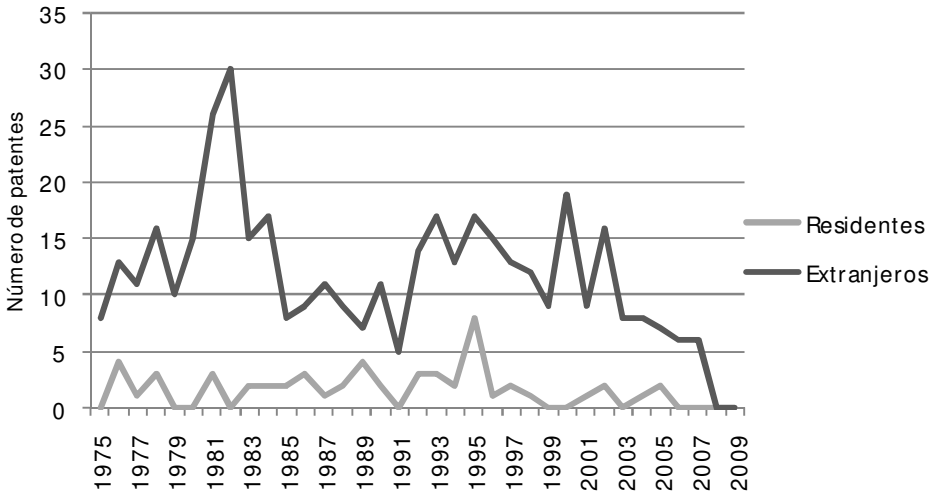


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la *Basecatalizmex*.

Solo cuatro instituciones mexicanas han presentado solicitudes de patente, sobre catalizadores, ante el IMPI: El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El IMPI ha otorgado 55 patentes sobre catalizadores a empresas residentes, las cuales son propiedad de dos agentes: el IMP y la UAM, con 53 y 2 patentes respectivamente. Las empresas residentes han presentado en promedio 2 solicitudes de estas por año, para un total de 85 solicitudes en los 35 años de análisis; en promedio se ha otorgado el 65% de esas solicitudes. El 11% de las patentes, sobre catalizadores, solicitadas ante el IMPI provienen de empresas residentes, en el caso de las patentes otorgadas representan el 12% del total; la tasa de concesión de las patentes de los residentes fue del 51%.

La figura 4.19 indica que a partir de 2003 nuevamente se incrementa el número de solicitudes de patente sobre catalizadores; las empresas mexicanas continúan viendo al mercado de los catalizadores como un mercado interesante; además la alineación, nuevamente, del IMP y Pemex permite que se inviertan más recursos en investigación, con lo cual se esperaría que a partir de 2010, se incremente considerablemente el número de solicitudes de patente en este campo. En cuanto a las patentes otorgadas, estas han tenido un comportamiento más estable, en promedio se les ha otorgado 1 patente por año, solo en 1995 se incrementó el número, llegando a obtener 8 patentes. Al igual que con las solicitudes de patente, se espera que se incremente el número de otorgamiento como resultado de los nuevos acuerdos entre IMP y Pemex.

Figura 4.20 Patentes sobre catalizadores otorgadas en México, a residentes y extranjeros (1975-2009)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la *Basecatalizmex*.

Las empresas extranjeras han presentado ante el IMPI 715 solicitudes de patente sobre catalizadores, de las cuales se les ha otorgado el 57%, porcentualmente es un poco menos de lo que se otorga a las empresas residentes, pero en términos absolutos se les concede 7 veces más. La tasa de concesión de patentes a empresas extranjeras fue de 65%, en promedio para el periodo analizado, para las patentes sobre catalizadores. Las empresas

extranjeras han presentado en promedio 20 de estas patentes por año, a partir de 1995 el promedio se incremento en 26 patentes por año, alcanzando a solicitar hasta 37 patentes en un solo año, 2002. La tendencia de las solicitudes de patente, sobre catalizadores, de empresas extranjeras también es creciente durante el siglo XXI; como la industria de los catalizadores para refinar petróleo se ve afectada por las disminuciones en las reservas de petróleo a nivel mundial, esta disminución hace que se incremente la investigación en catalizadores con el objetivo de maximizar la utilización del crudo y obtener un mayor volumen de refinados, además incentiva a que se desarrollen investigaciones para el tratamiento de los residuos obtenidos al final del proceso de refinación.

El número de patentes, sobre catalizadores, otorgadas a empresas extranjeras a lo largo del periodo fue mayor que el de las otorgadas a residentes; la brecha fue más grande durante el periodo de 1979-1984, y se redujo a partir de 1985 y hasta 1992; periodo que podría reflejar los frutos de la *Triada innovadora* que se conformó entre Pemex, IMP y algunas compañías multinacionales[94]. Después de 1993 la brecha de patentes otorgadas a residentes y extranjeros se incrementa, con máximos en los años 2000 y 2002. El promedio de patentes otorgadas a empresas extranjeras es de 12 por año, y para las empresas residentes es de 2 por año, en materia de catalizadores (Véase figura 4.20). Es importante tener en cuenta que las 55 patentes sobre catalizadores otorgadas a empresas mexicanas es resultado de las actividades de I+D de solo dos empresas, mientras que las 410 otorgadas a empresas extranjeras son producto de 91 empresas.

La empresa a la que el IMPI le otorgó el mayor número de patentes sobre catalizadores, durante el periodo de análisis, fue el *Instituto Mexicano del Petróleo* que obtuvo 53 patentes, las cuales representan el 11.5% del total de otorgamientos en este campo; le sigue *Phillips Petroleum* con 35 patentes otorgadas, que conforman el 7.6% del total, en tercer lugar se encuentra el *Instituto Francés del Petróleo* con 33 patentes y el 7.1% de participación, en cuarto lugar está *Exxon-Mobil* que obtuvo 29 patentes, que implican el 6.2% del total; y en el quinto puesto está la compañía UOP, que obtuvo 26

[94] La Triada innovadora de Pemex, IMP y Firmas multinacionales será explicado en la fase de Escalamiento, Producción y Venta, para el caso de México.

patente y tiene el 5.6% de participación en el total de patentes otorgadas[95]. Estas cinco empresas concentran el 38% de las patentes otorgadas en materia de catalizadores; si se suman las 10 primeras empresas se tiene el 56.28% del total, lo que refleja la fuerte concentración del mercado en unas cuantas empresas, situación similar o lo que ocurre en Brasil y Colombia.

En materia de catalizadores, el 48% de las patentes otorgadas fueron sobre catalizadores para utilizar en el método FCC, el 23% sobre catalizadores de hidrotratamiento, el 16% de las patentes otorgadas fueron sobre mejoras incrementales a catalizadores ya existentes, se refieren a mejoras en el proceso; un 8% fue de catalizadores destinados al tratamiento de residuos del petróleo, así como para la disminución de metales, el 4% restante fue sobre catalizadores para reformación del crudo.

A partir del cuadro 4.7 se puede ver la concentración de este mercado en México; los cinco países con la mayor participación son: Estados Unidos con 269 patentes, correspondientes a 55 empresas; le sigue México con 55 patentes otorgadas, correspondientes a 2 empresas; en tercer lugar está Francia con 49 patentes producto de 9 empresas; en cuarto lugar esta Holanda con 31 patentes, y en el quinto lugar está Italia con 16 patentes otorgadas.

Las únicas compañías residentes que tienen al menos una patente otorgada por el IMPI, en materia de catalizadores, son la Universidad Autónoma Metropolitana, que tiene 2 patentes, y el Instituto Mexicano del Petróleo, que tiene 53 patentes otorgadas; es relevante tener en cuenta que ninguna de las dos compañías tiene como misión principal la producción de catalizadores. El hecho de que solo haya dos empresas mexicanas con patentes otorgadas en este campo muestra que las empresas residentes no cuentan con las capacidades tecnológicas para competir, y que solo dos instituciones dentro de sus múltiples actividades han producido nuevo conocimiento sobre catalizadores (Véase el cuadro 4.7). El dominio y la gran ventaja en esta industria mexicana la tiene el Instituto Mexicano del Petróleo.

[95] Véase Anexo Cuadro 4.6 Patentes sobre catalizadores otorgadas en México (1975-2009), por solicitantes; el cuadro contiene la lista completa de los solicitantes que tienen al menos una patente sobre catalizadores otorgada por el IMPI.

Cuadro 4.7 Patentes sobre catalizadores otorgadas en México, clasificadas por países (1975-2009)

País	*P. Otorgadas*	*N° Empresas*	*Participación %*
Estados Unidos	269	55	58.23
México	55	2	11.90
Francia	49	9	10.61
Holanda	31	5	6.71
Italia	16	5	3.46
Canadá	12	2	2.60
Venezuela	8	1	1.73
Alemania	6	3	1.30
Reino Unido	6	3	1.30
Brasil	2	1	0.43
Bélgica	2	1	0.43
Japón	2	2	0.43
Otros*	4	4	0.87
Total	*462*	*93*	*100*

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Basecatalizmex.*

* China, Dinamarca, Suiza y Austria; cada uno de ellos con una patente.

El IMP en ninguna de estas patentes ha trabajado en colaboración con otras firmas o instituciones; todo el conocimiento producido ha sido resultado de sus actividades de I+D. Del total de patentes, sobre catalizadores otorgadas al instituto, 25 son sobre catalizadores para el proceso de hidrotratamiento, 12 para el proceso FCC, 10 son sobre mejoras en catalizadores ya desarrollados, 3 sobre tratamiento de residuos y de metales, y otras 3 para reformación de crudo.

El grupo de inventores mexicanos que tienen al menos una patente otorgada, en este campo, está conformado por 113 investigadores, 89 de ellos hombres y 24 mujeres; 110 inventores son trabajadores del Instituto Mexicano del Petróleo, los otros 3 trabajan para la Universidad Autónoma Metropolitana. Los inventores mexicanos más prolíficos, de acuerdo al número de participaciones en patentes otorgadas sobre catalizadores, son: Oscar Bermúdez Mendizábal que participó en 14, René Zarate Ramos también en 14, José

Manuel Domínguez en 10, María Teresa Cortez De La Paz en 6, Oliverio Moreno Lamont también en 6, Abel Moreno Tovar en 5, al igual que Ernesto Galván Rocha y Jorge Ancheyta Juárez; todos ellos investigadores del IMP.

El IMP como instituto nacional dedicado a la investigación en materia de petróleo ha demostrado las capacidades tecnológicas que tiene para producir nuevo conocimiento en cuanto a catalizadores para refinar petróleo; México como el quinto productor de petróleo más grande del mundo debe estar innovando constantemente en sus procesos de refinación, para optimizarlos y sacar más provecho del crudo; una de las formas en que lo hace es desarrollando nuevos catalizadores que le permiten tratar crudos más pesados, aumentar el volumen de productos derivados obtenidos a partir de la refinación y aprovechar los residuos de las refinerías, entre otros. Como ya se mencionó, la gestión del IMP se ve afectada por las relaciones y los acuerdos que maneja con Pemex, es importante fortalecer los vínculos para trabajar en la misma dirección y para que se destinen más recursos a las actividades de investigación.

En México se produce mucho conocimiento pero poco llega al mercado, se quedan en inventos sin llegar a ser innovaciones; gran parte del conocimiento que se produce es publicado sin recibir a cambio un beneficio; El IMP no aprovecha todo ese conocimiento para comercializarlo, como si lo hace el Instituto Francés del Petróleo a través de sus filiales, por ejemplo (Elmundodelpetroleo.com, 2009). El Instituto debe redefinir sus estrategias para capturar más recursos y poder destinar parte de esto a las actividades de I+D; parte de esto se espera que lo logre al fortalecer su vínculo con Pemex.

4.3.3 Escalamiento, Producción y Venta

Esta es la tercera fase del proceso de producción de catalizadores, que se definió en la introducción de esta investigación; en este fase se exponen las capacidades que tiene México para probar a nivel piloto e industrial los catalizadores que desarrolla, se comenta sobre los catalizadores que ha desarrollado y que son utilizados comercialmente; también se exponen las principales alianzas que se han establecido para completar esta fase del proceso y se habla de la existencia de proveedores nacionales.

4.3.3.1 Realización de la prueba piloto e industrial

Como ya se mencionó anteriormente, en el apartado de infraestructura disponible el desarrollo de actividades de I+D, el IMP tiene una gran cantidad de laboratorios y de plantas piloto donde puede evaluar los catalizadores que desarrolla; el IMP puede realizar la prueba piloto de sus catalizadores, pero no puede realizar la prueba a escala industrial; no cuenta los recursos necesarios para hacerlo. El IMP ha adquirido capacidades tecnológicas a partir de: Investigación bibliográfica, innovación incremental y copia de productos, entre otros (Aboites et al, 2004), pero no cuenta con una refinería propia para realizar la prueba de sus catalizadores a un volumen similar como el usado en las refinerías.

Aunque el IMP desarrolla algunos de los catalizadores utilizados por Pemex, nunca ha podido desarrollar todo el proceso de producción de manera endógena, siempre ha necesitado la colaboración de otra compañía para el escalamiento y fabricación de sus catalizadores. Antes de la constitución del IMP y hasta 1974 Pemex se abastecía de catalizadores y otras tecnologías asociadas a esta actividad industrial por medio de las corporaciones multinacionales como Shell, Standar Oil, Exxon, entre otras. Durante esta etapa Pemex se encargó de construir y desarrollar capacidades tecnológicas para la selección de catalizadores y proveedores (Aboites et al, 2004).

A partir de 1974 y hasta 1998 cambio la vía de abastecimiento de catalizadores de Pemex; en 1976 se desarrolló el primer catalizador del IMP (IMP-DSD-1U) que Pemex estuvo dispuesto a introducir en sus refinerías; pero como ni el IMP y en general ninguna empresa mexicana tenía la capacidad para producir el catalizador, fue necesario establecer un contrato para que la compañía UOP lo produjera. Se estableció a partir de esa fecha la estructura básica de la *triada innovadora*, donde las firmas multinacionales se encargaban de producir los catalizadores desarrollados en los programas de I+D del IMP y adquiridos bajo contrato por Pemex[96] (Aboites et al, 2004); cuando surgió la *Triada* Pemex no eliminó

[96] Durante el funcionamiento de la *Triada innovadora* Pemex le permitía al IMP realizar la prueba industrial de sus catalizadores después de haber sido fabricados por las firmas extranjeras.

la otra vía para la adquisición de los catalizadores utilizada, por lo tanto a partir de ese momento contaba con dos mecanismos para hacerlo[97].

En 1998 cambió la manera de operar de la *Triada* debido a que Pemex le exigía al IMP realizar la prueba industrial de los catalizadores antes de ser producidos a gran escala por la compañía extranjera, y de ser comprados por él, lo cual no podía ser cumplido por parte del IMP. Adicional a este cambio, el IMP se había especializado en desarrollo de catalizadores para utilizar en el proceso FCC, pero con la instalación de las plantas de hidrodesintegración de residuales de Pemex, cambió la demanda nacional de catalizadores y el IMP aún no tenía las capacidades tecnológicas para desarrollar este tipo de catalizadores (Aboites et al, 2004). Con estos cambio el IMP perdió mercado frente a las compañías extranjeras, que tenían la capacidad para realizar la prueba industrial y producir otros tipos de catalizadores; actualmente las firmas extranjeras continúan siendo proveedoras de catalizadores frente a Pemex, ya sea de manera individual o en alianza con el IMP.

4.3.3.2 Empresas nacionales productoras de catalizadores

En México actualmente no existe ninguna empresa productora de catalizadores para refinar petróleo; ninguna tiene las capacidades tecnológicas ni financieras para realizar todo el proceso de producción; aunque hay que mencionar algunos casos en los que empresas nacionales han participado en la producción de catalizadores desarrollados por el IMP. El primer caso es el de la empresa Eximgro, la cual produjo en 1981 un catalizador para hidrotratamiento, desarrollado por el IMP; la empresa fabricaba el catalizador con insumos extranjeros por lo que se veía afectada por las variaciones en la tasa de cambio, situación que la llevó a suspender esta actividad. El segundo caso se dio en 1982 y 1983 cuando la empresa Pyosa fabricó los primeros catalizadores para el tratamiento de la gasolina y el gas LP; aunque durante esos años la alianza fue exitosa, el reducido tamaño del mercado de

[97] Para más información sobre la Triada innovadora, su forma de operar, los mecanismos de transferencia de conocimiento, de recursos, véase: Aboites, J. et al, 2004, "La triada innovadora, I y D en el Instituto Mexicano del Petróleo", Editorial siglo XXI, México.

este tipo de catalizadores hizo que no fuera un negocio rentable para Pyosa, por lo que debió extinguir esta línea de producción (Aboites et al, 2004).

Otro caso fue el de la Compañía Internacional de Catalizadores de Impregnación (CICI), esta compañía se fundó en 1991 con la participación del IMP, Protexa, United Catalysts Incorporated (UCI) y Quimicorp Internacional. Al inicio de sus operaciones la empresa se dedicó a realizar estudios de viabilidad económica, incluyendo análisis de mercado, gestiones de términos de suministro de materia prima y venta de los productos que se tenía considerado fabricar; las ganancias marginales de la producción de catalizadores ocasionó que el IMP vendiera sus acciones y que la CICI se convirtiera en simple proveedora de servicios a Pemex (Soria, 2004).

Otras empresas como Almexa, Química Flúor, Cuproquim, Hexaquimia, y Pennwalt fabricaron durante la década de los 90s 8 tipos de catalizadores de los 33 tipos de catalizadores que adquiría Pemex (Gil, 1999); actualmente ninguna de estas empresas sigue produciendo catalizadores para Pemex. Aunque ha habido varios intentos, aun no se tienen las capacidades necesarias para crear un proveedor de catalizadores local.

4.3.3.3 Catalizadores desarrollados y empleados

El Instituto Mexicano del Petróleo ha dedicado parte de sus recursos al desarrollo de diferentes catalizadores y aditivos para la industria de la refinación de petróleo y la petroquímica básica. Para el año 2005 el IMP abastecía a las refinerías de Pemex el 80% de los catalizadores para hidrodesulfuración, el 36% de los catalizadores para reformación de naftas, el 90% de los catalizadores para desintegración catalítica FCC y el 87% de los aditivos catalíticos empleados en este último proceso (IMP, 2005). La integración de catalizadores de tecnología IMP para el proceso FCC en tan sólo 12 años consiguió una participación del 90 por ciento del mercado (IMP, 2005); aunque como se mencionó en el apartado de *Realización de la prueba piloto e industrial*, el IMP ha tenido que trabajar en alianza con empresas extranjeras para la producción de dichos catalizadores.

El desarrollo de catalizadores para el proceso FCC se inició en la década de los 80s, la primera aplicación industrial de este tipo de catalizadores se realizó en 1989; el primer catalizador fue el IMP-FCC-05, orientado a maximizar la producción de gasolina. La línea

de catalizadores, desarrollados por el IMP, para el proceso de hidrodesulfuración en 2005 incluía más de 8 catalizadores; la línea de catalizadores IMP para reformación de naftas cubre prácticamente todas las tecnologías de proceso existentes en el mercado para la producción de gasolina de alto octano (IMP, 2005).

Durante el periodo de la *Triada innovadora* el IMP, a través de sus socios tecnológicos, incorporó 43 catalizadores en las refinerías de Pemex; la mayoría de estos catalizadores son para los procesos de FCC e Hidrotratamiento[98]. En 2003 el 49% de los catalizadores desarrollados, bajo el esquema de alianza con compañías extranjeras, se encontraban en uso (Aboites et al, 2004). Actualmente el IMP sigue produciendo para Pemex, en alianza con compañías extranjeras, los 43 catalizadores que se desarrollaron en el periodo 1976-1998 (Entrevista a personal del área de Refinación y petroquímica-IMP, Junio de 2010).

4.3.3.4 Alianzas con firmas productoras especializadas

En el caso de México las alianzas con compañías productoras de catalizadores especializados son de dos tipos; uno de ellos es el de las alianzas que tiene Pemex con compañías extranjeras, y en el segundo tipo es el de las alianzas desarrolladas por el IMP; esto se debe a que Pemex cuenta con las dos vías para la adquisición de catalizadores.

Cuando Pemex requiere un catalizador diseña una licitación pública para que tanto empresas extranjeras como nacionales presenten sus propuestas de solución; una vez que Pemex hace la revisión de las propuestas selecciona a la compañía que presentó el mejor resultado y firma con ella un contrato para que le provea esos catalizadores. En las licitaciones de Pemex el IMP se debe presentar en alianza con alguna compañía extranjera, esto se debe a que el IMP no puede realizar todo el proceso de desarrollo de un catalizador, no cuenta con las capacidades tecnológicas para realizar la prueba industrial; las compañías extranjeras pueden ser un aliado o la competencia del IMP, esa situación se presenta porque

[98] Para mayor información sobre estos catalizadores véase: Aboites, J. et al, 2004, "La triada innovadora, I y D en el Instituto Mexicano del Petróleo", Editorial siglo XXI, México. Pp. 75-76.

la compañía extranjera puede licitar de manera independiente o en equipo con el IMP (Entrevista a personal del programa de Ingeniería Molecular-IMP, Mayo de 2010).

Una alianza importante que se debe mencionar es la que tiene Pemex con el Instituto Mexicano del Petróleo, que como ya se explicó ha pasado por diferentes etapas; durante el periodo de 1976-1998 la relación entre Pemex y el IMP fue muy fuerte y gracias a esto el IMP pudo introducir sus catalizadores al sistema de refinación de Pemex; después de 1998 la alianza entre las dos compañías cambió y el IMP perdió participación en el mercado de catalizadores utilizados por Pemex. Hasta 2007 el IMP y Pemex carecían de una coordinación que permitiera la asimilación tecnológica desarrollada por el primero, prueba de ello es que una vez terminados los productos tecnológicos, Pemex contrataba la tecnología con empresas transnacionales en lugar de utilizar y potenciar la del instituto. Para cerrar la brecha de este retraso tecnológico el consejo de administración de Pemex aprobó por unanimidad la firma del convenio Pemex-IMP propuesto por el Comité de Desarrollo e Investigación Tecnológica (INGENET, 2009), se espera que a partir de este nuevo convenio el IMP puede recuperar su participación en el mercado de catalizadores y tanto Pemex como el IMP puedan sacar mayores beneficios de la sinergia.

Durante el tiempo que operó la *Triada innovadora* los catalizadores desarrollados por el IMP se produjeron en alianza con las siguientes compañías extranjeras: UOP, con quien produjo 3 catalizadores; con UCI en la producción de 10 catalizadores; con Engelhard en la producción de 9 catalizadores; con Criterion trabajó en 7 catalizadores; con Intercat produjo 6 catalizadores; con Grace 2 y con Acreon otros 2; con Katalco solo trabajó para el desarrollo de un catalizador[99]. Algunas de las alianzas que ha hecho Pemex directamente con compañías productoras de catalizadores han sido con Shell, Standar Oil y ExxonMobil (Aboites et al, 2004).

[99] En Aboites et al (2004) se encuentra una lista detallada de los catalizadores IMP incorporados a Pemex a través de las compañías extranjeras, que fungían como socios tecnológicos, durante el periodo 1976-2002.

4.4 Principales hallazgos

A continuación se enlistan los hallazgos más importantes para cada uno de los tres países analizados:

- Brasil:

i. El país ocupó en 2008 el lugar número doce de los mayores productores de petróleo a nivel mundial y el tercero a nivel latinoamericano; ha logrado llegar a la autosuficiencia entre producción de crudo y consumo de petrolíferos, gracias a sus inversiones en avances tecnológicos y a su capacidad de perforación en aguas profundas, que además le ha permitido incrementar sus reservas.

ii. Petrobrás destina alrededor del 0.5% de los ingresos recibidos por la venta de los productos de la compañía, en actividades de I+D; el 3.7% de sus recursos humanos se dedican a actividades de I+D y además cuenta con una Universidad propia para la capacitación de sus empleados. Fruto de sus actividades de investigación Petrobras tiene el 16.55% del total de patentes otorgadas por el INPI en materia de catalizadores para el periodo 1975-2009; en el 9.75% de esas patentes ha trabajado en colaboración con otra empresa, la mayoría de los ellas brasileñas. Los gastos, el número de investigadores y la infraestructura disponible para actividades de I+D han aumentado a lo largo de los últimos años, esto ha permitido que el país construya y consolide sus capacidades tecnológicas en la industria. Petrobras cuenta también con una universidad para la formación y el entrenamiento de su personal nuevo.

iii. La estrategia que utiliza Petrobras para probar industrialmente sus catalizadores es transferir la formulación de los catalizadores desarrollados por el Cenpes a la Fábrica Carioca de Catalisadores S.A.; esta Fábrica es en un 50% propiedad de Petrobras. Además la compañía ha realizado importante alianzas con empresas extranjeras para la producción de catalizadores. A nivel latinoamericano Petrobras es la única compañía que tiene participación en una empresa productora de catalizadores.

- Colombia

i. Para 2008 el país ocupó el puesto 28 dentro del grupo de los mayores productores de petróleo del mundo y el número 5 a nivel latinoamericano; como el consumo de petrolíferos en Colombia siempre ha sido menor a su producción de petróleo se puede destinar una parte de la producción a las exportaciones. La balanza comercial del petróleo y de petrolíferos para el periodo 2000-2006 ha sido positiva, las importaciones sigue siendo pequeñas en comparación con las exportaciones. El país ha aprovechado sus capacidades para producir crudo y productos refinados de tal manera que pueda cubrir la demanda interna y destinar el resto de la producción al mercado extranjero.

ii. El plan de inversiones de Ecopetrol para el 2010 será un 11% mayor frente a lo aprobado para 2009; la compañía durante los últimos 8 años ha ido incrementando sus inversiones en I+D, esto ha sido fruto del proceso de apertura de la compañía a firmas extranjeras. Las actividades de investigación y desarrollo del ICP en 2009 estuvieron soportadas por 17 doctores, 68 maestros y 22 especialistas, el número de investigadores también se ha incrementado durante la última década, parte del personal que trabaja en el área de catálisis es contratado directamente por Ecopetrol, el resto son contratistas; al igual que Brasil, Ecopetrol cuenta con una Universidad Corporativa para la formación de sus recursos humanos; básicamente lo hace para dar un entrenamiento a sus nuevos empleados.

iii. Ecopetrol, la Empresa Nacional Minera, la compañía Energía Andina, la Universidad de Antioquia y la Universidad Nacional de Colombia han sido las únicas empresas colombianas que han presentado solicitudes de patente, sobre catalizadores para refinar petróleo, ante la SIC. En cuanto a la concentración de la producción de conocimiento sobre catalizadores en Colombia, el país ocupa el quinto lugar, de acuerdo al número de patentes otorgadas. Las patentes presentadas por Ecopetrol en Colombia, sobre catalizadores para refinar petróleo, son principalmente sobre aditivos para mejorar el rendimiento del catalizador.

iv. En Colombia actualmente no hay proveedores nacionales de catalizadores para refinar petróleo y Ecopetrol tampoco tiene las capacidades para hacerlo endógenamente, esta situación ha llevado a que la petrolera busque a sus proveedores en el extranjero; actualmente Ecopetrol está trabajando en el establecimiento de alianzas con sus proveedores de catalizadores para desarrollar catalizadores mejorados de manera conjunta.

- México

i. El país en 2008 fue el séptimo mayor productor de petróleo en el mundo, y el primero a nivel latinoamericano; la producción de petróleo crudo en el país siempre ha sido mayor que su consumo de petrolíferos, lo cual le ha permitido tener una balanza comercial de petróleo 100% positiva; en cuanto a la balanza de petrolíferos esta ha sido negativa debido a que las importaciones superan a las exportaciones; el país no tiene las capacidades para refinar todo el petróleo que produce por eso exporta en mayor proporción petróleo crudo que refinado.

ii. En el IMP el gasto en actividades de I+D oscila entre 700 y 950 millones de pesos anuales; el 50% de lo que gasta el instituto es recibido a través de la Ley Federal de Derechos, el otro 50% tiene que ser generado de las operaciones propias. Otra fuente de ingresos que tiene el IMP para destinar a actividades de I+D proviene de los fondos Sener-Conacyt. El 19% de los trabajadores del IMP se dedican a actividades de I+D. Cabe señalarse que tanto el gasto como el recurso humano disponible para actividades de I+D en catálisis en el IMP ha disminuido considerablemente a partir de 1998; esto fue consecuencia de la desvinculación del instituto y Pemex, esto ocasionó una disminución en las inversiones en general. Como apoyo a la formación de sus recursos humanos el Instituto también cuenta con un posgrado especializado en el ramo, solo que a diferencia de Petrobras y Ecopetrol que tienen una universidad para el entrenamiento de sus trabajadores, el IMP cuenta con un posgrado que permite formas no solo a sus empleados, sino también a todos los estudiantes interesados. Debido a la situación

financiera del Instituto la continuación de los posgrados está siendo evaluada; los recursos que se invierten en el posgrado podrían ser invertidos en otras áreas que demandan mayores recursos y representan mayores beneficios.

iii. El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) son las únicas cuatro instituciones que han presentado solicitudes de patente ante el IMPI, en materia de catalizadores; estas instituciones representan el 11% del total de solicitudes recibidas por el IMPI, en ese campo. El IMP obtuvo 53 patentes, las cuales representan el 11.5% del total de otorgamientos en México. Durante el periodo de la Triada Innovadora, 1976-1998, el patentamiento del IMP, en materia de catalizadores fue mayor que en periodos anteriores y posteriores; esto refleja los frutos de la alianza entre Pemex e IMP.

iv. Actualmente no hay empresas mexicanas dedicadas a la producción de catalizadores para refinar petróleo; El IMP ha logrado introducir 43 catalizadores propios a las refinerías de Pemex, a través de importantes alianzas establecidas con empresas extranjeras, desarrolladas principalmente durante el periodo 1976-1998; estas alianzas aun están vigentes aunque ya no entra dentro de la negociación Pemex, el IMP y la compañía extranjera son los encargados de coordinarse para producir de manera conjunta el catalizador que demanda Pemex.

5. COMPARACIÓN DE LAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DE BRASIL, COLOMBIA Y MÉXICO

El objetivo de este capítulo es comparar las capacidades tecnológicas que tienen Brasil, Colombia y México en la producción de catalizadores para refinar petróleo. En el capítulo anterior se expusieron las capacidades que tiene cada uno de estos países, en este capítulo se tratará de mostrar las semejanzas y diferencias en esas capacidades. Se pretende realizar la comparación a través de cuadros, que incluyen los principales indicadores de cada fase del proceso de producción, definidos en el capítulo anterior. Además se explicarán los grupos o alianzas que construyen las compañías petroleras de estos países para suplir su demanda de catalizadores.

El capítulo está divido en cinco apartados: los tres primeros apartados incluyen las comparaciones para cada una de las fases del proceso (*Demanda del catalizador, Investigación y Desarrollo, y Escalamiento, Producción y Venta)*; en el cuarto apartado se describe la forma en que operan en cada país los agentes que están presentes en el proceso de producción de catalizadores, desde que surge la necesidad hasta que es utilizado comercialmente el nuevo catalizador; en este apartado se describe el grado de endogenización de la producción de conocimiento tecnológico y catalizadores en cada país. Finalmente, en el último apartado se presentan los principales hallazgos del capítulo.

A continuación en el cuadro 5.1 se muestran algunos indicadores económicos, científicos y tecnológicos de Brasil, Colombia y México; se presentan los principales indicadores, a nivel de país, que tienen incidencia sobre los objetivos de esta investigación.

En términos porcentuales, los tres países gastan alrededor del 4.2% del PIB en educación; estas inversiones han permitido disminuir los niveles de analfabetismos y mejorar las condiciones de sus habitantes. En cuanto al gasto en Investigación y Desarrollo (I+D) como porcentaje del PIB, los países analizados destinan en promedio el 0.49%; México fue el país que más aumentó este porcentaje en diez años, en 2006 gasto un 74% más de lo que gastó en 1996, en Brasil el gasto en I+D creció un 43.66% y en Colombia disminuyó 36%. En términos absolutos Brasil sigue siendo el que más gasta en actividades de I+D, en relación con Colombia y México. El número de investigadores dedicados a I+D, en los tres países analizados, se duplicó en el periodo 1996-2006; Brasil es el que tiene más

investigadores por cada millón de habitantes, a su vez es el que tiene el mayor número de publicaciones científicas y técnicas por año, así como solicitudes de patente ante su oficina nacional de propiedad intelectual.

Cuadro 5.1 Principales indicadores económicos, científicos y tecnológicos de Brasil, Colombia y México

Indicador/ Año	*Brasil*			*Colombia*			*México*		
	1996	*2000*	*2006*	*1996*	*2000*	*2006*	*1996*	*2000*	*2006*
PIB per cápita (US$ a precios del 2009)	5,115	3,702	5,788	2,617	2,365	3,715	3,596	5,935	9,104
Gasto público en educación (% del PIB)	4.57	4.01	4.95	3.08	3.72	3.89	4.63	4.86	4.83
Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB)	0.71	0.93	1.02	0.29	0.139	0.183	0.309	0.372	0.536
Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas)	304	367	628	72	50	151	213	321	493
Artículos en publicaciones científicas y técnicas	3,813	6,407	10,215	195	332	447	2,124	2,971	3,934
Solicitudes de patentes ante la oficina nacional, residentes	2611	3,080	3810	87	75	121	384	431	574

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial, consultado el 23 de Junio de 2010.

El cuadro 5.1 está mostrando que en Brasil existen mejores condiciones para que se realicen actividades de investigación y desarrollo; el gobierno destina más recursos para estas actividades, tienen más investigadores y estos producen una cantidad considerable de patentes y artículos científicos. En México también hay condiciones favorables pero aun no tiene el nivel de Brasil, en el país falta más apoyo económico a la ciencia, a las actividades de investigación y desarrollo; en Colombia no hay suficientes investigadores y al gobierno le hace falta diseñar más incentivos para formar recursos humanos en ciencias duras e ingenierías, además su gasto en actividades de I+D como porcentaje del PIB sigue siendo bajo.

5.1 Fase I: Demanda del Catalizador

A continuación se presenta un cuadro comparativo con los principales indicadores de la fase I, *Demanda del catalizador*, para las tres compañías petroleras objeto de esta investigación.

A partir del cuadro 5.2 se observa que para 2009 Pemex fue el mayor productor de crudo de las tres compañías, aunque no fue el mayor productor de petrolíferos, Petrobras fue la compañía que tiene el primer lugar en este rubro. Petrobras fue la compañía con la mayor capacidad instalada en refinerías, puede procesar 2,223 miles de barriles por día (mbd), aunque en promedio solo refina 1,937 mbd; a su vez fue la empresa con el mayor volumen de reservas. Pemex fue la segunda compañía con el mayor volumen de refinación y capacidad instalada en las refinerías. Ecopetrol ocupó el tercer lugar en cuanto a capacidad instalada y volumen de refinación, pero fue la que utilizó en mayor proporción la capacidad de sus refinerías, casi en un 90%, mientras que Pemex y Petrobras las utilizaron al 82 y 87% respectivamente.

Pemex es una compañía que no realiza importaciones de crudo, exporta el 48% de su producción de crudo; Petrobras realiza tanto exportaciones como importaciones de crudo, su balanza comercial para 2009 fue positiva gracias a que sus exportaciones fueron mayores que sus importaciones; el caso de Ecopetrol es similar al de Petrobras, realiza exportaciones e importaciones de crudo, aunque en 2009 el volumen de sus exportaciones fue 36 veces más grande que el de las importaciones, en el caso de Petrobras las exportaciones fueron 1.05 veces más grande que sus importaciones. En cuanto a la balanza comercial de derivados del petróleo, Ecopetrol en 2009 fue la única compañía con una balanza positiva; las importaciones de Pemex y Petrobras fueron más grandes que sus exportaciones por lo tanto obtuvieron una balanza negativa.

De acuerdo con esta primera fase, Petrobras es la compañía que tiene las mayores capacidades para producir petróleo crudo y refinado, además tiene la mayor capacidad instalada en sus refinerías; Petrobras ha mostrado un gran avance al ser autosuficiente y desarrollar capacidades para explotar yacimientos que se ubican en el pre-sal; en años anteriores la producción de crudo en Brasil era menor que el consumo por lo que el país tenía que realizar grandes importaciones, gracias a la exploración de nuevos yacimientos y al desarrollo de capacidades para explotación del pre-sal Brasil ha logrado cambiar la

balanza y suplir su demanda interna sin recurrir a un gran volumen de importaciones; Petrobras también ha aumentado su capacidad de refinación y esto le ha permitido reducir las importaciones de productos refinados; como se vio en el capítulo 4, la existencia de una fabrica nacional productora de catalizadores en Brasil ha motivado a que se aumente la producción de productos refinados.

Cuadro 5.2 Principales indicadores para la fase de Demanda del catalizador

INDICADOR/COMPAÑÍA			
Producción de crudo 2009 (Mbd)	1,978	496	2,601
Producción de petrolíferos 2009 (Mbd)	1,991	217.77	1,518
Capacidad de refinación 2008 (Mbd)	2,223	330	1,540
Utilización refinerías 2008 (%)	87.13	89.39	82.47
Exportaciones de crudo 2009 (Mbd)	451	183	1,250
Importaciones de crudo 2009 (Mbd)	426	5	0
Balanza comercial de crudo 2009 (Mbd)	25	178	1,250
Exportaciones de derivados 2009 (Mbd)	215	84.75	57
Importaciones de derivados 2009 (Mbd)	270	7.52	305
Balanza comercial de refinados 2009 (Mbd)	-55	77.23	-248

Fuente: Elaboración propia con información de los sitios electrónicos de Petrobras (2010), Ecopetrol (2010), Pemex (2010) y EIA (2010); así como de la información contenida en el capítulo 4 de esta investigación.

Pemex es una compañía con gran poder en la producción de crudo; aunque aún no cuenta con las capacidades necesarias para refinar todo el petróleo que tiene, esto la lleva a realizar

grandes importaciones de petrolíferos. México se ha caracterizado por ser un país exportador de petróleo crudo y un gran consumidor de productos refinados; el país no ha aumento su capacidad de refinación desde hace más de 10 años; internamente no se hacen las inversiones necesarias para aumentar la producción de productos refinados, se desaprovecha la oportunidad de ser un gran exportador de productos refinados. Como se verá en la siguiente fase, Pemex no invierte lo suficiente para aumentar sus capacidades de refinación.

Ecopetrol es una compañía pequeña en relación con las dos anteriores, es autosuficiente en cuanto a producción de crudo y consumo de petrolíferos; a partir del cambio en su composición de capital y de la ruptura del monopolio en Colombia, Ecopetrol ha invertido más recursos para el incremento de sus capacidades de refinación, así como en la búsqueda y exploración de nuevos yacimientos. Durante los últimos años no ha aumentado su capacidad de refinación aunque si ha incrementado el volumen procesado; la compañía debería seguir incrementando sus exportaciones de productos refinados para aumentar sus ingresos y poder destinar una mayor parte de estos a los gastos en actividades de investigación y desarrollo.

En los Brasil y Colombia los catalizadores más demandados por las refinerías, de acuerdo al crudo que procesan (pesado), son los de craqueo catalítico (FCC), seguidos por los catalizadores de hidrotratamiento; en el caso de México la mayor demanda es de catalizadores de hidrotratamiento y luego los de FCC, el crudo que más se procesa también es pesado. La mayor parte de la producción de derivados del petróleo, en los tres países, fue de combustibles (gasolina, diesel y combustóleo).

5.2 Fase II: Investigación y Desarrollo

La fase de investigación y desarrollo está conformada por cuatro grandes indicadores: Gasto en I+D, infraestructura, recursos humanos y producción de conocimiento. En el caso de México los indicadores se midieron para el IMP porque es la institución encargada de realizar las actividades de investigación y desarrollo de Pemex, como ya se explicó en el capítulo 3, el IMP es un organismo autónomo e independiente de Pemex. En los casos de Brasil y Colombia se midieron los indicadores para Petrobras y Ecopetrol.

A continuación en el cuadro 5.3 se presentan algunos indicadores sobre los ingresos de las compañías petroleras para 2008, así como sobre la inversión y el gasto en I+D realizado para el sector de downstream[100] y para el área de catálisis particularmente. Para el caso de México todos los datos corresponden a Pemex, salvo una parte del Gasto en I+D y el gasto del área de catálisis, que corresponden al IMP.

Cuadro 5.3 Ingresos, inversiones y gastos en I+D de Petrobras, Ecopetrol, Pemex e IMP, para 2008 (Millones de US$)

INDICADOR/COMPAÑÍA			
Ingresos	118,257	20,464	119,235
Inversiones (% del ingreso)	24.6	22.6	15.1
Inversión en el sector downstream (% del total de inversiones)	18.9	10.3	37.6
Gasto en I+D (% del ingreso)	0.8	0.4	0.05
Gasto en I+D para catálisis (% del gasto total en I+D)	16	30	10

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el capítulo 4 de esta investigación y de los estados de resultados de Ecopetrol, Petrobras, Pemex e IMP para 2008.

De acuerdo con el cuadro 5.3 se observa que Pemex es la compañía que recibe los mayores ingresos, seguido de Petrobras que tiene unos ingresos relativamente cercanos a los de Pemex; la compañía de menores ingresos es Ecopetrol, que como ya se ha dicho es la más pequeña de las tres analizadas, en cuanto a producción de crudo y de productos refinados. Petrobras fue la empresa que más invirtió en 2008, el 25% de sus ingresos, es decir US$

[100] Se analiza el sector downstream porque es en este segmento donde se realizan las actividades que tienen que ver con refinación y petroquímica, que es donde su utilizan los catalizadores.

29,079 millones (Petrobras, 2010); le siguió Ecopetrol que invirtió el 23% (US$ 4,621 millones) (Informe Anual-Ecopetrol, 2008) y en tercer lugar se encuentra Pemex que invirtió el 15% de los ingresos, alrededor de US$ 18,000 millones (Pemex, 2010). Este indicador confirma la importancia que tiene para Petrobras invertir en nuevas tecnologías, aumentar su capacidad instalada, y realizar proyectos que le permitan mejorar sus capacidades; las otras dos compañías también están realizando importantes inversiones, Pemex por ejemplo está invirtiendo en exploración de nuevos yacimientos, en producción y refinación de crudo y en plataformas marinas, entre otros (Informe Anual-Pemex, 2008). Ecopetrol está invirtiendo en aumentar su capacidad de refinación y en la exploración de nuevo yacimientos.

En el sector de downstream se agrupan las actividades de refinación y son utilizados los catalizadores, por esto se presentan las inversiones realizadas en el sector. La compañía que realizó las mayores inversiones en 2008 en este sector fue Pemex, seguido de Petrobras; Ecopetrol invirtió US$ 476 millones en el sector de downstream (Estados financieros no auditados-Ecopetrol, 2010), mientras que Petrobras invirtió US$ 5,511 millones (Plan de negocios 2009-2013-Petrobras, 2009) y Pemex US$ 6,810 millones (Pemex, 2010). En relación con los gastos en investigación y desarrollo, Petrobras en 2008 gastó en I+D el 0.82% de sus ingreso, Ecopetrol el 0.4% y Pemex el 0.05%; en el caso de México de los US$ 62 millones que se gastaron en I+D, el 29% fue financiado directamente por el IMP, el restante 71% provino de Pemex. En términos absolutos Petrobras gastó en actividades de I+D 15 veces lo que gastó Pemex y 11 veces lo que gastó Ecopetrol.

En 2008 Ecopetrol destinó el 30% del gasto en I+D al área de catálisis, Petrobras el 16% y el IMP el 10%. Como se mencionó en el capítulo anterior, el IMP realiza investigación y desarrollo en catalizadores de acuerdo a las necesidades de Pemex, pero se ve limitado por su incapacidad para realizar la prueba industrial de los catalizadores que desarrolla; esto ha provocado que el instituto disminuya el gasto en esta área. En el caso de Ecopetrol, la compañía invierte una gran cantidad de recursos para el desarrollo de aditivos para los catalizadores que compra; este es el principal objetivo para el área de catálisis. En el caso de Petrobras, la compañía realiza una fuerte inversión en catalizadores debido a que tiene el 50% de la propiedad de la Fabrica Carioca de Catalisadores; lo cual le facilita la

realización de la prueba industrial y la producción de los nuevos catalizadores desarrollados por los investigadores de su centro de investigación, El Cenpes.

Históricamente el gasto en actividades de I+D en Petrobras y Ecopetrol ha aumentado constantemente, las dos compañías han incrementado el gasto en este tipo de actividades y esto se refleja en el aumento de sus capacidades de producción de crudo y de productos refinados; el caso de Pemex es contrario al de las dos compañías anteriores, durante la última década el gasto en I+D se ha ido reduciendo considerablemente, la compañía ha dejado de hacer grandes inversiones en proyectos de investigación y perdió la vinculación que tenia con el IMP, su centro de investigación; la desvinculación del IMP y Pemex ha provocado que el IMP reduzca sus inversiones en proyectos de investigación porque no cuenta con el mismo nivel de recursos que tenía antes, ahora debe financiarse en mayor medida con recursos propios y se ha volcado principalmente a la prestación de servicios; lo que ha conllevado a rezagar un poco el área de investigación y desarrollo. A la par que se han incrementado los gastos de I+D en Ecopetrol y Petrobras, también se han incrementado los gastos en I+D para el área de catálisis; en el caso de Pemex y el IMP el gasto de I+D en catálisis también se ha reducido significativamente en comparación con lo que gastaba hace 10 años; las disminuciones del gasto en I+D en catálisis se reflejan en la reducción del presupuesto para proyectos así como en el número de investigadores disponible para el desarrollo de estas actividades; más adelante se expondrá más información sobre el recurso humano.

Del grupo de compañías analizadas, Petrobras es la que tiene la mayor extensión para actividades de investigación y desarrollo, 305 mil metros cuadrados, le sigue el IMP que cuenta con 139 mil metros cuadrados, y en tercer lugar está el ICP con 35 (Petrobras, 2010; IMP, 2010; Ecopetrol, 2010). A su vez el Cenpes, seguido por el IMP, es el centro con el mayor número de plantas piloto para realizar pruebas de catalizadores; en cuanto a número de investigadores el Cenpes tiene más de 2000 investigadores, el IMP tiene más de 600 y el ICP tiene casi 200; del total de investigadores del Cenpes el 7% se dedica actividades de I+D en catálisis, en el ICP el 16% y en el IMP el 17%.

Como lo señala Hebert-Copley (1990), la acumulación de capacidad tecnológica no es producto exclusivamente del aprendizaje a través de la experiencia, sino que también depende de las decisiones de invertir recursos en la capacitación y contratación de personal,

en el desarrollo de proyectos de I+D, entre otros, a fin de promover el aprendizaje a nivel de la producción, que en este caso particular es producción de catalizadores para refinar petróleo.

El número de investigadores que se dedica a actividades de I+D en Petrobras se ha incrementado durante el presente siglo, la compañía ha invertido fuertemente en la vinculación de personal para el desarrollo de proyectos de investigación; a nivel latinoamericano su centro de investigación en uno de los más grandes en cuanto a infraestructura y personal dedicado a actividades de I+D (Petrobras, 2010); como se mostró en el cuadro 5.1, Brasil es el país con el mayor número de investigadores en comparación con México y Colombia, y esta diferencia también se mantiene en relacion al número de investigadores que laboran en los centros de investigación para la industria del petróleo.

Cuadro 5.4 Infraestructura y capital humano dedicado a actividades de I+D en catálisis en Petrobras, Ecopetrol e IMP

INDICADOR/COMPAÑÍA			
Espacio para actividades de I+D (Miles de metros cuadrados)	305	35	139
Plantas piloto para catálisis	30	8	19
Total Investigadores (2008)	2034	193	661
Inventores que tiene al menos una patente en catálisis (1975-2009) [a]	137	26	110

Fuente: Elaboración propia con información de Petrobras (2010), Ecopetrol (2010), Pemex (2010) e IMP (2010).

[a] Este valor corresponde al número de investigadores que han participado en las patentes sobre catalizadores, presentada por las compañías ante la respectiva oficina nacional de propiedad intelectual.

A continuación, en el cuadro 5.5, se presentan los principales indicadores referentes a las patentes, sobre catalizadores, registradas antes las oficinas nacionales de propiedad intelectual; en el caso de Brasil se analizaron las patentes presentadas en ante el Instituto Nacional de Propiedad Intelectual (INPI), en el caso de México las del Instituto Mexicano

de la Propiedad Intelectual (IMPI) y para Colombia las registradas ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). El análisis de las patentes sobre catalizadores para refinar petróleo permite ver la cantidad de nuevo conocimiento que se está protegiendo en esta industria; el análisis además permite identificar cuáles son los países y empresas que están más enfocados en esta actividad y para quiénes es más importante proteger su conocimiento en estos tres países.

Como manifiesta Katz (1987), el conocimiento en los países en desarrollo (PED) tiene un origen interno, pero también uno externo; el conocimiento proveniente del exterior viene incorporado en los equipos que se importan, en las patentes, los manuales de instrucciones, licencias y contratos de asistencia técnica; y el conocimiento tecnológico proveniente del interior se encuentra en las actividades de I+D propias de la empresa, en los individuos, entre otros. En el cuadro 5.4 se mostraron parte de los recursos internos que tienen las compañías para adquirir conocimiento tecnológico desde el interior, desde el desarrollo de sus actividades propias de I+D; en el cuadro 5.5 se expone lo relacionado a algunas fuentes externas que permiten la incorporación de conocimiento tecnológico en las compañías, las patentes.

En el capítulo 4 se presentó la evolución histórica del patentamiento sobre catalizadores en los tres países, en este capítulo se presenta un resumen de esta situación. En el cuadro 5.5 se observa que la oficina mexicana de la propiedad intelectual (IMPI) ha sido la oficina que ha recibido la mayor cantidad de solicitudes de patente sobre catalizadores para refinar petróleo, durante el periodo analizado; esto podría indicar principalmente dos cosas: i) que México es un mercado interesante para las grandes compañías productoras de catalizadores porque no encuentran competencia local en este ramo y porque el país consume un volumen importante de catalizadores; y/o ii) el IMP representa una amenaza para las compañías internacionales, en cuanto a producción de catalizadores; estas protegen su conocimiento para que en caso de que el IMP empiece a producir sus catalizadores no tenga una entrada fácil al mercado. Al igual que en México, en Brasil también se registra una gran cantidad de solicitudes de patente sobre catalizadores para refinar petróleo, esto se debe a que en Brasil si hay una compañía nacional productora de catalizadores y representa una fuerte competencia para las empresas extranjeras; además porque Petrobras es un gran consumidor de catalizadores para refinar petróleo y constituye

un mercado grande y atractivo. En Colombia el número de solicitudes sobre catalizadores para refinar petróleo es mucho menor que el de los otros países analizados, esto se debe principalmente a que el país no consume grandes volúmenes de catalizadores y este mercado está dominado principalmente por compañías estadounidenses; esto hace que otras compañías extranjeras no encuentran atractivo proteger el conocimiento sobre este mercado en Colombia.

Cuadro 5.5 Patentes sobre catalizadores para refinar petróleo, registradas en las oficinas nacionales de propiedad intelectual (1975-2009)

INDICADOR/OFICINA	BRASIL	COLOMBIA	MÉXICO
Total Patentes solicitadas	520	147	800
Total Patentes otorgadas	138	76	465
Patentes solicitadas por residentes	117	12	85
Patentes otorgadas a residentes	30	3	55
Tasa promedio de concesión a residentes (%)	34	12	51
Tasa promedio de concesión a extranjeros (%)	49	42.3	65
Tipo de catalizador más patentado	FCC 61%	FCC 60%	FCC 48%
País con mayor otorgamiento	Estados Unidos 49.3%	Estados Unidos 58%	Estados Unidos 58.2%
Agente nacional con mayor número de patentes otorgadas	Petrobras 16.6%	Ecopetrol 1.4%	IMP 11.5%

Fuente: Elaboración propia a partir de la información registrada en la oficinas de propiedad intelectual de Brasil (INPI), México (IMPI) y Colombia (SIC); así como de las bases de datos construidas a partir de dicha información (*Basecatalizinpi*, *Basecatalizsic* y *Basecatalizmex).*

En las tres oficinas de propiedad intelectual analizadas el número total de solicitudes de patente sobre catalizadores para refinar petróleo ha crecido durante los últimos 15 años de análisis; en el caso de México las solicitudes tuvieron un fuerte crecimiento a partir de 1991 en Colombia a partir del año 2000 y en Brasil a partir de 1994 (Véase el capítulo 4). Las empresas mexicanas presentaron menos solicitudes de patente, sobre catalizadores para

refinar petróleo, que las empresas residentes en Brasil, pero tuvieron una tasa de concesión más alta que las brasileñas.

Las solicitudes de patente, sobre catalizadores, presentadas por empresas residentes en Brasil tuvieron un importante crecimiento a partir de 1995; en México ocurrió la situación contraria, las empresas residentes disminuyeron sus solicitudes a partir de ese año; en Colombia las solicitudes de las empresas residentes han tenido un comportamiento más estático, se ha dado muy poco variación en el patentamiento (Véase el capítulo 4). De acuerdo con esto las empresas brasileñas son las que han mostrado mayor participación en este mercado, como se verá más adelante esto es el reflejo del comportamiento de Petrobras, en su constante aumento del gasto en investigación y desarrollo, así como la vinculación de más personal dedicado a este tipo de actividades.

En las tres oficinas nacionales de propiedad intelectual las patentes que más se otorgaron fueron las de catalizadores aplicables al proceso de craqueo catalítico (FCC); a su vez, en los tres países las empresas que más patentan en este campo son firmas estadounidenses, y de las residentes las que más patentan son las petroleras nacionales, en el caso de México es el IMP que es el centro de investigación de Pemex, que por ser independiente de Pemex registra sus patentes bajo su propia razón social. En el caso de Colombia hay tres compañías colombianas con el mismo número de otorgamientos, en este campo para el periodo analizado (Ecopetrol, Energía Andina y Empresa Nacional Minera), aunque Ecopetrol es la empresa residente que ha presentado el mayor número de solicitudes de patente ante la SIC, en materia de catalizadores. En Brasil 16 empresas residentes presentaron solicitudes de patente en este campo, en México 5 y en Colombia 5 también; esto señala que en Brasil las empresas residentes tienen más proyectos de investigación, sobre catalizadores para refinar petróleo, que las colombianas y mexicanas.

A partir del cuadro 5.6 se puede constatar que hasta 2009 Petrobras fue la compañía que presentó el mayor número de patentes, sobre catalizadores para refinar petróleo, ante su oficina nacional de propiedad intelectual, dentro del grupo de compañías analizadas; Sin embargo la compañía que tiene el mayor número de patentes otorgadas en este campo es el IMP, que tiene más del doble de las obtenidas por Petrobras; Ecopetrol presentó 8 solicitudes sobre catalizadores para refinar petróleo hasta 2009 y solamente una de ellas le fue otorgada, esto posiciona a la compañía en tercer lugar. Aunque el IMP es el agente con

el mayor número de patentes otorgadas en materia de catalizadores se debe tener en cuenta que a partir de 1995 el número de patentes solicitadas, en este campo, ha venido disminuyendo considerablemente; esto se debe a la disminución del gasto en este tipo de actividades y a la reducción del número de investigadores en el área de catálisis. El caso de Petrobras es contrario al del IMP, Petrobras ha incrementado considerablemente el número de solicitudes de patente en este campo a partir de 1995, en este caso se debe a la contratación de más investigadores en el área de catálisis, así como en el aumento del gasto en I+D. Ecopetrol no ha mostrado una evolución ni positiva ni negativa en cuanto a sus solicitudes de patente sobre catalizadores para refinar petróleo; aunque la compañía ha aumentado su gasto en I+D en catálisis su objetivos se direccionan principalmente a establecer alianzas con proveedores de catalizadores a nivel internacional, no tanto a aumentar su producción de conocimiento, salvo que si producen conocimiento sobre aditivos para mejorar el rendimiento de los catalizadores que usan.

Cuadro 5.6 Patentes sobre catalizadores para refinar petróleo, presentadas por Petrobras, Ecopetrol e IMP en las oficinas nacionales de propiedad intelectual (1975-2009)

INDICADOR/COMPAÑÍA			
Patentes solicitadas	82	8	75
Patentes otorgadas	23	1	53
Tasa de concesión de las patentes (%)	53	25	66
Patentes presentadas en alianza	8	1	0
Tipo de catalizador más patentado	FCC 63.3%	Mejoras 50%	Hidrotratamiento 47.1%
Investigadores que han participado en las patentes	137	26	110

Fuente: Elaboración propia a partir de *Basecatalizinpi*, *Basecatalizsic* y *Basecatalizmex*.

Como señalan Cohen y Levinthal (1989), la I+D no es solamente generar nueva información, sino también mejorar la habilidad de la empresa para asimilar y explotar la

información existente; la inversión en I+D por un lado genera innovaciones, pero también desarrolla la habilidad de las compañías para identificar, asimilar y explotar conocimiento del entorno; muchas de las invenciones de las tres compañías analizadas surgen de hacer mejoras a catalizadores existentes, innovaciones incrementales.

Se observa además que Ecopetrol y Petrobras han trabajado por lo menos en una de sus patentes, sobre catalizadores para refinar petróleo, con otras empresas, mientras que el IMP ha presentado todas sus patentes de manera individual. La mayoría de las patentes, sobre catalizadores para refinar petróleo, presentadas por el IMP son sobre catalizadores utilizados en el proceso de hidrotratamiento, particularmente en la hidrodesulfuración y en Petrobras la mayoría de las patentes corresponden a catalizadores que son utilizados en el proceso de craqueo catalítico (FCC). En el caso de Ecopetrol la mayoría de sus patentes son sobre mejoras a catalizadores ya existentes.

La United States Patent and Trademark Office (USPTO) le ha otorgado en total 198 patentes a Petrobras, 21 de estas corresponden a catalizadores para refinación de petróleo, la mayoría de ellas sobre catalizadores que se utilizan en el proceso de craqueo catalítico. A Ecopetrol la USPTO le ha otorgado en total 3 patentes, una de ellas es sobre la trampa de vanadio que se añade a los catalizadores de FCC; y el IMP tiene 15 patentes otorgadas por la USPTO, de las cuales 5 corresponden a catalizadores para refinar petróleo. Esto señala que Petrobras es el agente, de los tres analizados, que ha protegido más su conocimiento a nivel internacional; la compañía está interesada en proteger sus invenciones sobre catalizadores a nivel mundial, lo protege en Estados Unidos porque es uno de los países que consume más catalizadores para refinar petróleo y también es uno de los que tiene más empresas productoras de dichos catalizadores, que son una fuerte amenaza para la Fabrica Carioca de Catalisadores (FCCSA), compañía en la cual Petrobras tiene el 50% de las acciones.

5.3 Fase III: Escalamiento, Producción y Venta

Esta fase hace referencia a las actividades de escalamiento, producción y venta del nuevo catalizador desarrollado; a continuación se exponen los principales indicadores de esta fase para los tres agentes analizados.

De acuerdo con el cuadro 5.7 Petrobras, Ecopetrol e IMP tienen las capacidades para realizar la prueba piloto a los catalizadores, pero ninguno de ellos puede hacer la prueba a escala industrial en sus propias instalaciones (refinerías), por lo que deben recurrir a otra compañía que si tenga esta capacidad. La diferencia está en que en Brasil si existe una compañía nacional productora de catalizadores para refinar petróleo, la Fábrica Carioca de Catalisadores S.A. (FCCSA); mientras que en México y Colombia no existe actualmente ninguna compañía nacional que atienda ese mercado, aunque en México hubo dos compañías que intentaron entrar a este mercado. Otra ventaja que tiene Brasil es que la FCCSA es en parte propiedad de Petrobras, entonces hay mayor vínculo entre Petrobras que llega hasta la formulación del nuevo catalizador y la FCCSA que es la encargada de probarlo industrialmente y producirlo para poder comercializarlo.

Cuadro 5.7 Principales indicadores sobre el escalamiento, producción y venta de catalizadores en Petrobras, Ecopetrol e IMP (2009)

INDICADOR/COMPAÑÍA			
Prueba piloto	Si	Si	Si
Prueba industrial	No	No	No
Productoras nacionales	FCCSA	No	No
Alianzas con compañías extranjeras	Si	Si	Si

Fuente: Elaboración propia con información de Petrobras (2010), Ecopetrol (2010), Pemex (2010) e IMP (2010).

Las tres compañías analizadas han realizado alianzas con compañías productoras de catalizadores; en el caso del IMP y Petrobras su estrategia ha sido aliarse con compañías

productoras de catalizadores para probar sus desarrollos y producirlos a escala para ser comercializados posteriormente, en el caso de Petrobras la principal alianza ha sido con otra empresa brasileña (FCCSA) mientras que en el caso del IMP ha sido con empresas extranjeras. En el caso de Ecopetrol las alianzas han sido para incorporarle a los catalizadores producidos por compañías extranjeras los aditivos desarrollados por ellos mismos, lo cual permite mejorar el rendimiento de los catalizadores que están en el mercado y que son usados por Ecopetrol.

En el siguiente apartado de este capítulo se describen más a fondo las alianzas realizadas por Petrobras, Ecopetrol e IMP con otras compañías extranjeras para suplir su demanda de catalizadores para refinar petróleo.

5.4 Modelos de producción de conocimiento tecnológico y catalizadores para refinar petróleo en Brasil, Colombia y México

El propósito de este apartado es mostrar cuáles son los agentes que participan en el proceso de producción de catalizadores en Brasil, Colombia y México; el proceso incluye la producción de conocimiento tecnológico y de los catalizadores para refinar petróleo. Para cada caso se explicará cómo es la forma en que interactúan estos agentes, así como sus características principales. En el marco conceptual (Capítulo 1, apartado 1.4) se explicaron tres modelos de producción de acuerdo al grado de endogenización de todo el proceso, y en el capítulo metodológico (Capítulo 2) se explicó cómo a partir de los indicadores definidos para cada fase del proceso se puede evaluar el grado de endogenización del proceso de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores.

Al evaluar el grado de endogenización de la producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores se podrá identificar las capacidades tecnológicas que ha construido cada país, y cómo estas le han permitido realizar de manera interna actividades que antes eran elaboradas por agentes externos.

Hay que recordar que el proceso productivo está conformado por las siguientes fases: a) Demanda del catalizador, satisfecha por las actividades de revisión de la disponibilidad del nuevo catalizador en el mercado y requisición del nuevo catalizador; b) Investigación y Desarrollo (I+D), que incluye las actividades de investigación básica a

nivel de laboratorio, caracterización y definición de la formulación; y c) Escalamiento, Producción y Venta, que se compone de las actividades de prueba en planta piloto, prueba industrial, realización de las mejoras incrementales necesarias, y finalmente, producción y en algunos casos venta del nuevo catalizador.

5.4.1 Modelo de Brasil

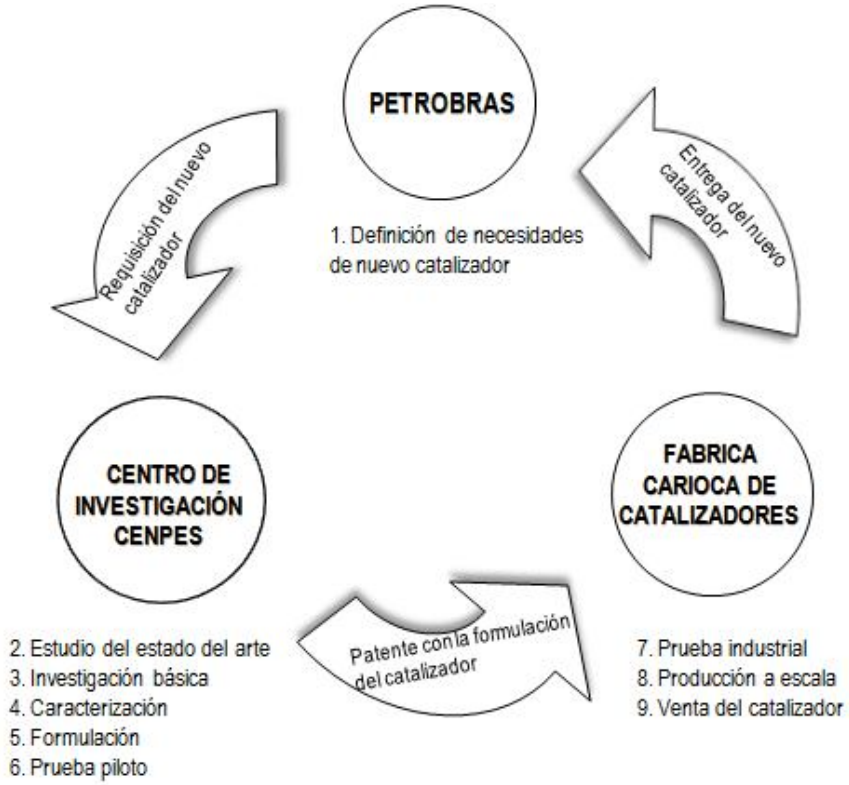
Para el caso de Brasil existen básicamente dos modelos de gestión para la producción de conocimiento tecnológico y suministro de los catalizadores que requiere Petrobras; uno de ellos se construye con la participación de la Fábrica Carioca de Catalisadores (FCCSA), Modelo 1, y el otro con la participación de otras compañías extranjeras productoras de catalizadores para refinar petróleo, Modelo 2. A continuación se describen los dos modelos.

En el Modelo 1, Brasil a través de Petrobras realiza las actividades de requisición del nuevo catalizador, la demanda del catalizador la realiza de acuerdo con las características del crudo que va a procesar; una vez que se tiene la requisición se envía la solicitud al centro de investigaciones de Petrobras (Cenpes), allí se realizan las actividades de I+D, se hace la investigación básica y aplicada hasta llegar a la formulación del nuevo catalizador; el siguiente paso es enviar la formulación a la FCCSA, para que allí se realicen las pruebas a nivel industrial. Dependiendo de los resultados de la prueba industrial el Cenpes realiza las mejoras necesarias antes de que la FCCSA produzca a escala los catalizadores. Una vez que la FCCSA produce los catalizadores Petrobras los compra y los lleva a sus refinerías para ser usados en el proceso de refinación. Este modelo que se acaba de explicar (Modelo 1) se asemeja al Modelo C (presentado en el marco teórico). En el Modelo 1, las fases I y II se hacen de manera endógena en Brasil, la fase III se realiza por una empresa brasileña, la FCCSA, pero este empresa es parte de Petrobras y parte de Albemarle, entonces no se puede decir que la fase III es totalmente endógena; solo lo es una proporción. En este caso la mayor parte del proceso de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores se hace de manera endógena en Brasil; a través del Modelo 1 Petrobras se abastece del 95% de los catalizadores que consume.

Históricamente Brasil se acerca cada vez más al Modelo C, donde todo el proceso es endógeno; esto ha sido el resultado de sus fuertes inversiones en actividades de I+D en

catálisis y a la creación de capacidades tecnológicas de sus investigadores. Esto prueba la hipótesis de Katz (2007) de que en realidad las firmas latinoamericanas si llevan a cabo esfuerzos tecnológicos, lo que en algunos casos, como en el de Brasil, les permite desarrollar proveedores nacionales y crear sinergias y externalidades de gran significancia. Brasil a través de sus procesos de aprendizaje y sus grandes inversiones en I+D ha logrado construir capacidades tecnológicas en este campo; esto le ha permitido además reemplazar a proveedores externos y realizar de manera interna procesos que antes no podía porque no contaba con las capacidades necesarias.

Figura 5.1 Brasil, Modelo 1 de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo



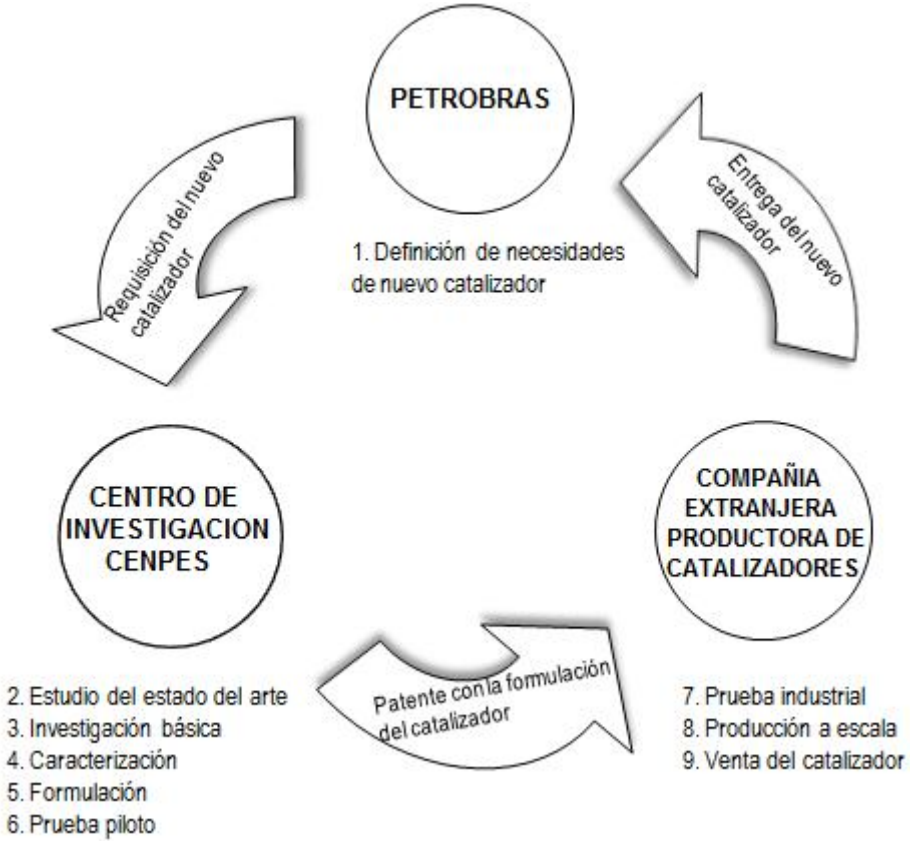
Fuente: Elaboración propia a partir de la idea de Aboites et al (2004).

La diferencia entre el Modelo 1 y 2, de Brasil, es que la tercera fase no es realizada por la FCCSA sino por otra compañía extranjera productora de catalizadores (Albemarle,

Avantium y Kobe Steel); en este caso la fase III se hace de manera exógena. Brasil utiliza este modelo para adquirir otro tipo de catalizadores que no puede producir la FCCSA; esto indica además que Petrobras y la FCCSA aun no cuentan con las capacidades tecnológicas para producir todos los catalizadores que demandan las refinerías.

El caso de Brasil podría decirse que es un caso exitoso porque ha sabido aprovechar las habilidades adquiridas para transformarlas en capacidades tecnológicas y endogenizar su producción; el país ha mostrado una constante evolución que ahora lo posiciona como uno de los líderes latinoamericanos en esta industria.

Figura 5.2 Brasil, Modelo 2 de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo



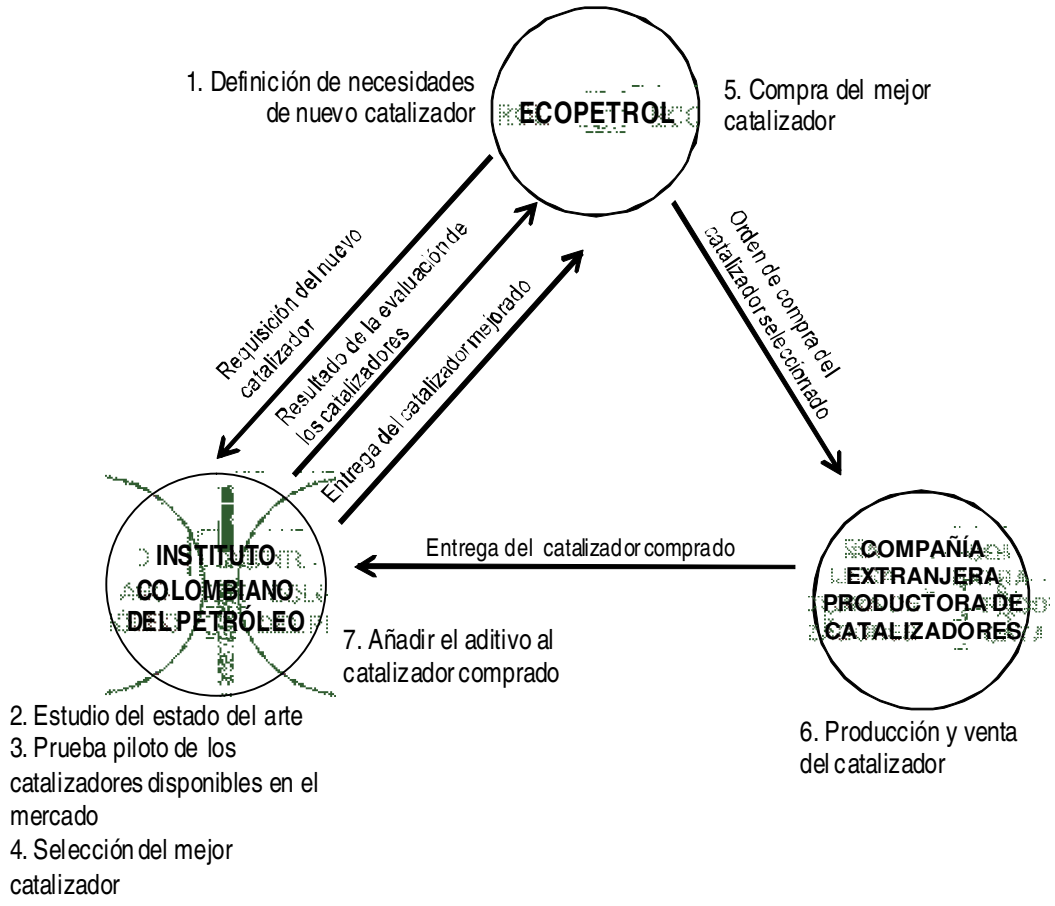
Fuente: Elaboración propia a partir de la idea de Aboites et al (2004).

5.4.2 Modelo de Colombia

En el caso de Ecopetrol existe un único modelo para llevar a cabo el proceso de producción de los catalizadores y de conocimiento tecnológico. Como ya se mostró en el capítulo 4, las actividades de investigación y desarrollo, de Ecopetrol, en el área de catálisis han consistido en desarrollar aditivos para mejorar el rendimiento de los catalizadores; el principal aditivo desarrollado es la *Trampa de Vanadio*, la cual permite capturar el vanadio para preservar la actividad y selectividad de los catalizadores de ruptura catalítica (Entrevista a personal del área de Catálisis-Ecopetrol, Agosto de 2009). Como Ecopetrol no desarrolla catalizadores, la estrategia que ha utilizado es especializarse y crear capacidades tecnológicas para ser un experto en selección y evaluación de catalizadores; una vez que identifica los catalizadores que cumplen con sus necesidades, los compra y les agrega el aditivo que ha desarrollado, esto permite tener catalizadores mejorados que tienen un mayor rendimiento.

Como se observa en la figura 5.3, Ecopetrol envía la requisición del nuevo catalizador al Instituto Colombiano del petróleo (ICP), que pertenece a Ecopetrol, allí los investigadores se encargan de seleccionar el catalizador que tiene mejor rendimiento, de acuerdo a los resultados de las pruebas en planta piloto. Una vez que se ha elegido el mejor catalizador Ecopetrol le compra el catalizador a la compañía extranjera que lo produce, que podría ser: Basf, Grace Davison o Albemarle; aquí el vínculo entre la compañía extranjera y Ecopetrol es exógeno. Posteriormente la compañía extranjera envía el catalizador al ICP y allí se le añade el aditivo que permite mejorar el rendimiento del catalizador, el aditivo que se añade es desarrollado y producido por Ecopetrol. Una vez que se tiene el catalizador mejorado se envía a las refinerías de Ecopetrol para que sea aplicado a las cargas de crudo que serán procesadas. El modelo utilizado en Colombia señala que la producción de los catalizadores no es completamente endógena, solamente la fase I y II se hacen de manera endógena; los investigadores del ICP solo llegan hasta la selección y evaluación de los catalizadores a nivel de planta piloto, la fase III es hecha fuera de Colombia por una compañía extranjera; esto quiere decir que solo un poco más de la mitad de todo el proceso se realiza de manera endógena, por lo tanto el modelo de Ecopetrol sería equivalente al Modelo B, explicado en la metodología.

Figura 5.3 Colombia, Modelo de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo



Fuente: Elaboración propia a partir de la idea de Aboites et al (2004).

Actualmente Ecopetrol está trabajando en establecer una alianza con Grace Davison para producir conjuntamente el catalizador mejorado; Ecopetrol se encargaría de la producción del aditivo y Grace del catalizador (Entrevista a personal del área de Catálisis-Ecopetrol, Mayo de 2010). Esto le permitiría a Colombia tener un modelo de producción más cercano o semejante al Modelo C, con lo cual aumentaría el grado de endogenización de su producción de catalizadores.

La evidencia muestra que Colombia aun no cuenta con las capacidades tecnológicas necesarias para producir conocimiento tecnológico y catalizadores de manera interna a pesar de sus esfuerzos e inversiones en actividades de I+D; aunque se debe reconocer que

el país si ha construido capacidades a partir de sus procesos de aprendizaje y esto le ha permitido empezar a crear sinergias importantes con grandes compañías extranjeras.

5.4.3 Modelo de México

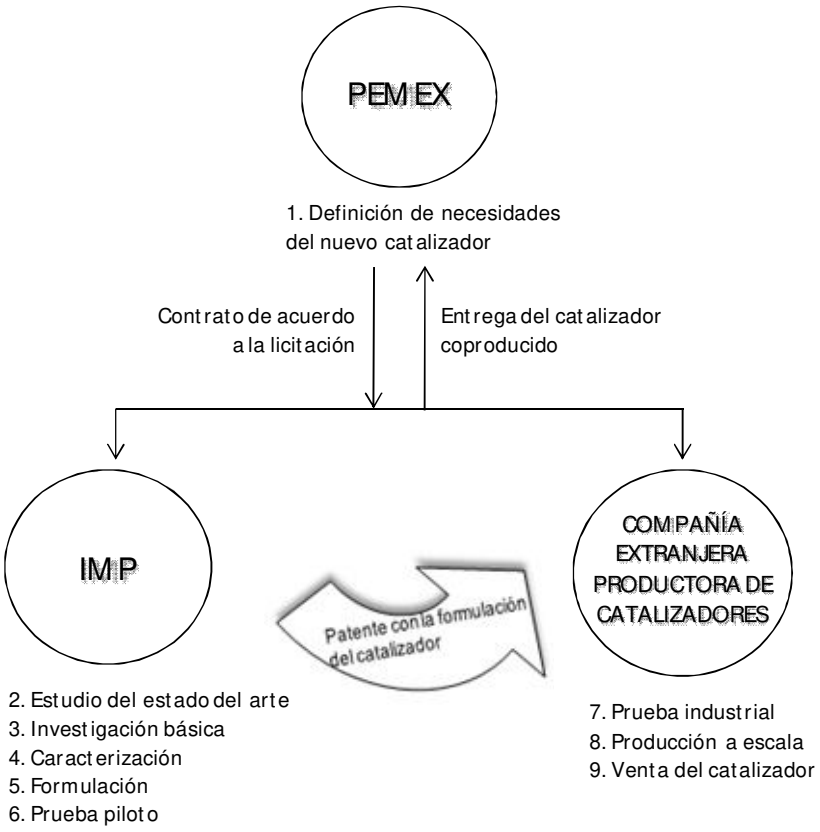
En Pemex hasta 1998 operó el modelo llamado por Aboites et al (2004), "*La Triada Innovadora"*; la forma en que funcionaba este modelo consistía en que Pemex enviaba la requisición del nuevo catalizador al Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), el IMP se encargaba de desarrollar la formulación del nuevo catalizador y lo probaba en sus plantas piloto; luego mediante un contrato de transferencia de uso de tecnología e información el IMP le entregaba a las compañías extranjeras la formulación del catalizador para que estas lo produjeran y lo enviaran a las refinerías de Pemex donde se realizaba la prueba industrial del catalizador y si no era necesario hacerle mejoras se producía a gran escala por las compañías extranjeras; cuando era necesario hacer mejoras el IMP se encargaba de hacerlas para que después se produjera a gran escala[101]. El modelo de *Triada Innovadora* era semejante al Modelo B definido en el marco teórico, aunque se acercaba bastante al Modelo C, porque había una alianza estratégica entre IMP y la compañía extranjera, así como entre la compañía extranjera y Pemex.

A partir de 1999 cambió la relación entre Pemex y el IMP; cuando Pemex requiere un catalizador publica una licitación para que tanto empresas extranjeras como nacionales presenten sus propuestas; si el IMP quiere ganar una de estas licitaciones debe aliarse con alguna compañía extranjera para poder realizar la prueba industrial y la producción a escala ya que Pemex exige que los catalizadores sean probados industrialmente antes de que le sean vendidos (Entrevista a personal del programa de Ingeniería Molecular-IMP, Mayo de 2010); cuando el IMP no participa en la licitación Pemex le compra el catalizador directamente a la compañía extranjera que lo produce, en este caso el IMP no realiza ninguna actividad.

[101] En el libro Aboites, J. et al, 2004, "La triada innovadora, I y D en el Instituto Mexicano del Petróleo", Editorial siglo XXI, México, se encuentra más información sobre la forma en que operaba esta triada.

A continuación se presentan gráficamente los dos modelos que están siendo utilizados actualmente en México; en la figura 5.4 está el Modelo 1, que ocurre cuando el IMP trabaja en colaboración con otra empresa para producir el catalizador, y en la figura 5.5 el Modelo 2, cuando el IMP no participa en la licitación y por ende tampoco en la producción de dicho catalizador requerido por Pemex.

Figura 5.4 México, Modelo 1 de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo



Fuente: Elaboración propia.

Cuando el IMP participa en la licitación (Modelo 1), el proceso de producción tiene las fases I y II desarrolladas de manera endógena, solamente la fase III es realizada en el extranjero; este modelo se asemeja al Modelo B definido en la metodología, tan solo una tercera parte del proceso es realizada de manera exógena (Véase la figura 5.4).

Cuando el IMP no participa en la licitación, (Modelo 2), las fases II y III se desarrollan de manera exógena, esto quiere decir que en México solo se realiza la primera fase, este segundo modelo se asemeja al Modelo A, que es en su mayor parte exógeno (Véase la figura 5.5).

Figura 5.5 México, Modelo 2 de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo



Fuente: Elaboración propia a partir de la idea de Aboites et al (2004).

En los actuales modelos de producción de catalizadores en México, no hay una relación directa entre Pemex y el IMP. Pemex se limita a publicar la licitación y seleccionar la mejor oferta para suplir su demanda de catalizadores para refinar petróleo; el IMP es el que debe negociar con la firma extranjera para coproducir el catalizador demandado por Pemex. Se

espera que a partir del nuevo convenio firmado por Pemex y el IMP se vuelva a trabajar en equipo y se cree una sinergia para la producción de los catalizadores.

México construyó importantes capacidades tecnológicas en esta industria mientras existió un vínculo fuerte entre el IMP y Pemex. Durante este periodo el país logró realizar de manera endógena más de la mitad del proceso de producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores; esta alianza permitió que se aprovecharan los conocimientos aprendidos. Ante la desvinculación entre Pemex y el IMP se han desaprovechado las capacidades hasta entonces desarrolladas; México ha permitido el aumento de la participación de firmas externas en el proceso productivo, lo cual ha reducido la proporción que se realiza de manera endógena; además el IMP frente a esta situación también ha perdido posibles ingresos lo cual ha significado una disminución de sus gastos en actividades de I+D. En general, México ha presentado un retroceso en este proceso de construcción y desarrollo de capacidades tecnológicas, la relación positiva o negativa entre IMP y Pemex se refleja en el aprovechamiento de las capacidades y en el aumento o disminución del grado de endogenización de la producción de conocimiento tecnológico y catalizadores.

5.5 Principales hallazgos

i. Un aspecto en el que convergen los tres países es en la demanda de catalizadores, que es principalmente de catalizadores para el proceso de craqueo catalítico e hidrotratamiento; esto se debe a que la mayoría del petróleo que procesan es pesado y extra pesado. A su vez, en los tres países la mayor parte de su producción de derivados del petróleo corresponde a combustibles.

ii. Otra semejanza entre los tres países es la constitución de las empresas petroleras nacionales; tanto en Brasil como en Colombia y México, cuando se creó la compañía nacional de petróleo, esta tenía poder monopólico en el país y no recibía inversión extranjera. Años más adelante en Brasil y Colombia se rompió el monopolio y entró la participación accionaria de firmas extranjeras en la compañía petrolera nacional; esto permitió que en Petrobras y Ecopetrol se redefinieran las estrategias y se invirtieran más

recursos en las actividades de exploración, explotación, producción y transporte de petróleo crudo; asimismo se incrementó considerablemente el gasto en actividades de investigación y desarrollo, que se vio reflejado en el incremento del número de investigadores, el aumento de la infraestructura y los equipos disponibles para estas actividades, la producción de conocimiento y la construcción de capacidades tecnológicas, entre otros. La inversión extranjera en Brasil y Colombia ha permitido que las compañías petroleras crezcan, también ha hecho que se inviertan más recursos en proyectos que permitan mayores beneficios, se ha dado mayor importancia a los proyectos de investigación y desarrollo que generan mayor rentabilidad en el largo plazo, y que además como resultado generan innovaciones. Esto además ha permitido que en Brasil, más que en Colombia, aumente el grado de endogenización de la producción de catalizadores y de conocimiento tecnológico sobre los mismos.

iii. En el caso de México la compañía nacional de petróleo sigue manteniendo el monopolio y no recibe inversión extranjera; esta situación no ha sido del todo favorable para el país. Pemex es la principal fuente de ingresos de México y esto ha hecho que cada vez se destinen una proporción mayor de las utilidades de la compañía para cubrir otros gastos nacionales, en vez de ser reinvertidos; la falta de un control exhaustivo a los estados financieros ha llevado a que la compañía presente pérdidas. Sería pertinente que Pemex recibiera inversión extranjera o que por lo menos estableciera alianzas con compañías extranjeras para trabajar de manera conjunta en proyectos y redireccionar sus estrategias; también sería conveniente tener un mejor manejo de los recursos que entran y salen de la compañía para tener una situación financiera más sana e invertir más recursos en las áreas de investigación y desarrollo.

iv. Otro punto en el que divergen los países analizados es en la naturaleza del centro de investigación para la industria nacional del petróleo. En Colombia y Brasil el centro de investigación pertenece a la compañía petrolera nacional; la vinculación entre la compañía petrolera nacional y el centro de investigaciones ha permitido que haya un relación directa entre los objetivos globales de la compañía y los del centro de investigación; esto ha permitido que se trabaje de manera conjunta y se aprovechen

mejor las capacidades que tienen los centros de investigación. En México la situación es contraria, el IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) no pertenece a Pemex, por lo cual hay diferencias entre los objetivos de los dos agentes y no siempre trabajan de manera conjunta. En periodos de auge de la vinculación entre los organismos se invierten más recursos en las actividades de I+D, por lo cual se construyen y desarrollan más capacidades tecnológicas que cuando se debilita la relación entre los agentes. La dificultad en la construcción de capacidades tecnológicas y el crecimiento tecnológico de Pemex se podría ver como el resultado de dos aspectos clave: 1) la desvinculación entre el instituto de investigación para la industria del petróleo y la compañía petrolera nacional, y 2) la falta de inversión extranjera en la petrolera nacional.

CONCLUSIONES

Esta investigación se realizó con el objetivo de conocer y comparar las capacidades tecnológicas que tienen Brasil, Colombia y México para la producción de catalizadores para refinar petróleo, así como la forma en que estos países suplen su demanda de catalizadores. Esta investigación estuvo orientada a responder la pregunta de ¿Cuál es el grado de endogenización de la producción de conocimiento tecnológico y de catalizadores para refinar petróleo en estos países?; la hipótesis de la que se partió fue que los países analizados han incrementado el grado de endogenización de su producción de catalizadores; aunque, comparativamente, cada país se encuentra en un punto diferente de desarrollo de capacidades tecnológicas. A su vez, la hipótesis plantea que los países analizados aun no cuentan con las capacidades suficientes para desarrollar todo el proceso de manera endógena; solamente las fases de *Demanda del catalizador* e *Investigación y Desarrollo* se desarrollan de manera endógena; la fase de *Escalamiento, Producción y Venta* es realizada de manera exógena, por las grandes compañías multinacionales.

A partir del análisis realizado se confirmó parcialmente la hipótesis planteada. En Brasil, a diferencia de México y Colombia, el proceso de construcción de capacidades tecnológicas ha sido más rápido. Cuando Brasil entró en la industria la empresa petrolera nacional (Petrobras) era exclusiva del estado y no tenía las capacidades necesarias para producir los catalizadores que demandaban sus refinerías; años más adelante, cuando se permitió la inversión extranjera en la empresa petrolera, se incrementó el gasto en actividades de investigación y desarrollo en general; a su vez el aumento de las inversiones en el área de catalizadores para refinar petróleo permitió que se acrecentara el número de investigadores, la infraestructura y equipo disponibles para actividades de I+D; más adelante estas inversiones se reflejaron en el resultado de las investigaciones del área, en la producción de nuevo conocimiento y en la construcción de capacidades tecnológicas a nivel nacional, en materia de catalizadores para refinar petróleo.

En México desde la creación de la empresa petrolera nacional (Pemex) esta ha sido exclusiva del Estado y no ha recibido inversión extranjera; esto ha hecho, en parte, que no se lleve un control exhaustivo de los estados financieros de Pemex, que existan problemas de recursos y de manejo de los mismos, así como falta de una visión externa. Otro aspecto

que ha ocasionado que México se retrase en su proceso de construcción de capacidades tecnológicas, en materia de catalizadores, es la independencia y autonomía existente entre el centro de investigación (Instituto Mexicano del Petróleo) y Pemex, que ha llevado a problemas de fijación de objetivos y trabajo en equipo. Durante 1976-1998, que el IMP y Pemex trabajaron en alianza, el país logró consolidar importantes capacidades en materia de formulación y prueba piloto de los catalizadores desarrollados por el IMP; en este periodo el país solo necesitaba aliarse con compañías extranjeras para escalar el catalizador desarrollado internamente. En los periodos en que los dos agentes no han trabajado en equipo se han desaprovechado las capacidades desarrolladas en el país y se ha dado mayor participación a las empresas extranjeras; las grandes multinacionales productoras de catalizadores le venden directamente sus productos a Pemex, no hay participación del IMP, no se aprovechan los resultados de sus proyectos de investigación.

En Colombia, así como en Brasil, se permitió la inversión extranjera en la empresa petrolera nacional (Ecopetrol) años después de su creación; esta participación de firmas extranjeras permitió que se planearan objetivos más ambiciosos y se invirtieran más recursos en las actividades de investigación y desarrollo de toda la compañía. El área de catálisis también recibió mayores inversiones en I+D, lo cual llevó a la contratación de más investigadores, mejoramiento de la infraestructura y mejores resultados; Colombia es aun un país pequeño en materia de petróleo, comparado con Brasil y México, pero ha desarrollado importantes capacidades tecnológicas; su proceso de construcción de capacidades ha sido lento pero se debe reconocer que ha hecho grandes esfuerzos, mismos que actualmente le permiten desarrollar aditivos para mejorar el rendimiento de los catalizadores desarrollados por empresas extranjeras, así como ser experto en evaluación y selección de catalizadores para refinar petróleo.

En los tres países la construcción de capacidades tecnológicas se ha enfocado hacia catalizadores que se utilizan para el proceso de craqueo catalítico (FCC) e hidrotratamiento; esto debido a que la mayor parte del crudo que refinan es pesado y requiere de un tratamiento distinto al de los crudos más ligeros. A su vez, en los tres casos analizados ocurre lo que menciona Hebert-Copley (1990), sobre la construcción de capacidades tecnológicas en Latinoamérica; Brasil, México y Colombia son países en desarrollo que han tenido que aliarse con firmas extranjeras para completar satisfactoriamente su proceso de

producción de catalizadores y de conocimiento tecnológico sobre los mismos. Los tres países han aprendido a formular y probar los catalizadores que desarrollan en sus centros de investigación, a nivel de laboratorio y de planta piloto; han tenido que establecer alianzas con compañías extranjeras para delegarles la función de producir, a escala industrial, los catalizadores desarrollados por ellos. Estos PED analizados han desarrollado procesos de aprendizaje para construir capacidades tecnológicas a partir de su relación con las empresas extranjeras de países desarrollados, especialmente de Estados Unidos, Suiza y Holanda.

Brasil es el país analizado que ha sacado, hasta el momento, más provecho de la relación con compañías extranjeras productoras de catalizadores; esta relación le ha permitido aliarse con Albemarle para crear la única empresa de este tipo a nivel latinoamericano (Fabrica Carioca de Catalizadores- FCCSA); con la creación de la FCCSA, Brasil ha logrado endogenizar aún más su producción de catalizadores. Colombia también ha aprendido a partir de su relación con compañías extranjeras y ha empezado a establecer alianzas con algunas de estas compañías para coproducir catalizadores mejorados; dichos catalizadores son formulados por la compañía extranjera, pero contienen el aditivo desarrollado en Colombia. En México también se ha aprendido de compañías foráneas productoras de catalizadores; durante el periodo que Aboites et al (2004) llamaron la *Triada Innovadora*, México realizó importantes alianzas con compañías extranjeras para que se encargarán del escalamiento de los catalizadores desarrollados por el IMP. Todo esto demuestra que no es del todo cierto que los países menos desarrollados sean receptores pasivos de la nueva tecnología Hebert-Copley (1990).

La evidencia demostró que en los tres países las compañías petroleras nacionales y sus centros de investigación desarrollaron nuevo conocimiento tecnológico sobre catalizadores para refinar petróleo, mejoraron catalizadores existentes, desarrollaron habilidades en selección y evaluación de catalizadores; como dice Katz (2007), desarrollaron capacidades tecnológicas en función de sus tareas productivas, unos en mayor escala que otros, como Brasil que desarrolló más capacidades que México y Colombia; no fueron simples receptores de la tecnología y los productos que compraban a las multinacionales productoras de catalizadores. Como señala Katz (2007), las firmas latinoamericanas, en este caso las petroleras nacionales, han adquirido habilidades a través de los países desarrollados con los que se relacionan. Durante estos periodos de aprendizaje

las compañías llevan un proceso de aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas "*Endo-dirigido"*; es endógeno en tanto que las compañías aprenden de las actividades y procesos que desarrollan al interior, y es dirigido debido a la presencia de las tecnológicas desarrolladas por los PD's.

En el caso de Brasil la endogenización de capacidades tecnológicas para la producción de catalizadores para refinar petróleo ha llevado a que actualmente las fases 1 (*Demanda del catalizador*) y 2 (*Investigación y Desarrollo*) se desarrollen completamente de manera interna y la fase 3 (*Escalamiento*) se realice también en su mayor parte de manera endógena, esto debido a que el 95% de los catalizadores que consume son producidos por la FCCSA, compañía en la cual Petrobras tiene el 50% de propiedad. En Colombia las fases 1 y 2 se llevan a cabo de manera interna, aunque Colombia no se ha especializado tanto en la formulación de nuevos catalizadores sino en la selección y evaluación de los que se encuentran disponibles en el mercado, así como en el desarrollo de aditivos; la fase 3 sigue siendo exógena, aunque se han empezado a establecer alianzas para coproducir catalizadores mejorados. En México, el país tiene las capacidades suficientes para realizar de manera endógena las fases 1 y 2, aunque en algunos casos la petrolera nacional compra el catalizador directamente a la empresa extranjera y esto conlleva a que las fases 2 y 3 se realicen de manera exógena. De los tres países analizados Brasil es el que ha conseguido endogenizar la mayor parte de su producción de catalizadores para refinar petróleo, así como de su producción de conocimiento tecnológico sobre los mismos.

Al contrario de lo que dice Katz (2007), de que los países en desarrollo realizan principalmente investigación aplicada y sólo cubren las fases más sencillas del proceso de creación doméstica de capacidades y conocimientos tecnológicos, los países analizados dentro de la industria de la refinación del petróleo han realizado principalmente proyectos de investigación básica; estos agentes se han encargado de desarrollar capacidades en cuanto a la formulación de nuevos catalizadores más que a la aplicación y mejora de los ya existentes en el mercado. Brasil y México son los que han hecho más investigación sobre nuevos catalizadores, mientras que Colombia se ha enfocado más en investigaciones para mejoramiento de productos existentes.

Aunque esta investigación se enfocó particularmente en el área de catálisis, se debe reconocer que los tres países han realizado grandes esfuerzos por construir capacidades

tecnológicas en otros sectores como los de explotación y exploración de yacimientos, así como en sus capacidades de refinación. Asimismo los tres países se han preocupado por la formación de sus recursos humanos y han creado universidades corporativas para entrenar a su capital humano, como en el caso de Colombia y Brasil, o bien para ofrecer posgrados especializados en la industria del petróleo, como en el caso de México.

El análisis de las capacidades tecnológicas de Brasil, Colombia y México permitió observar que los tres países han atravesado por diferentes etapas y estrategias para suplir su demanda de catalizadores, así como diferentes proceso de construcción de capacidades tecnológicas; cada uno de ellos cuenta con condiciones diferentes para responder a su demanda y oferta de petróleo refinado, así como de petróleo crudo. Asimismo, los resultados de esta investigación permiten identificar a Brasil como el país más sobresaliente de la industria de la refinación a nivel latinoamericano debido a sus grandes avances y a su rápido proceso de construcción de capacidades tecnológicas; a su vez se puede observar que México tiene el potencial y ha desarrollado importantes capacidades que, de ser bien explotadas, le permitirán seguir compitiendo en la industria y endogenizar la fase de *Escalamiento* de los catalizadores desarrollados. En el caso de Colombia, se ha expuesto las capacidades que ha desarrollado y se esperaría que, de continuar con sus inversiones en I+D, en el largo plazo pueda empezar a desarrollar su propios catalizadores, aunque en principio seguirá necesitando la colaboración de las grandes compañías productoras de catalizadores.

Para darle continuidad a esta investigación sería interesante realizar una análisis a nivel latinoamericano que incluya a otros países como Venezuela y Argentina que también han desempeñado un papel destacable dentro de la industria del petróleo; los dos países son importantes productores de petróleo crudo y refinado, lo cual implica que también requieren de grandes cantidades de catalizadores para refinar el petróleo que comercializan. Un análisis que incluya a los cinco países permitiría conocer las capacidades desarrolladas en Latinoamérica en esta industria, y su potencial para competir en grupo con grandes países productores de catalizadores, como los Países Bajos y Estados Unidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aboites, J. et al., 2004, "La Triada Innovadora", Editorial Siglo XXI, México.
- Aboites, J. y M. Soria, 2008, "Economía del Conocimiento y Propiedad Intelectual", primera edición, Editorial Siglo XXI, México.
- Amsden, A., 1989, "Asia's Next Giant: South Korea and Late Industrialization", Oxford University Press, New York.
- Archibugi, D. & Coco, A., 2004, "A New indicator of Technological Capabilities for Development Countries and Developing Countries (ArCo)", en World Development Vol. 32, No. 4, pp.629-654.
- Archibugi, D. and Coco, A., 2005, "Measuring Technological Capabilities at the country level: A Survey and a menu for Choice", Research Policy 34, pp. 175-194.
- Ast, F., 2007, "El desafío de Petrobras: ¿cómo crear una cultura de la colaboración en una empresa compleja?" consultado el 19 de Abril de 2010, de: http://www.materiabiz.com/mbz/capitalhumano/nota.vsp?nid=30033.
- Bell, M., 1984, "'Learning' and the Accumulation of Industrial Technological Capacity in Developing Countries", in K. King and M. Fransman (Eds.), Technological Capacity in the Third World; pp. 187-209, London, Macmillan.
- Bell, M. and K. Pavitt, 1995, "The Development of Technological Capabilities", in I., Haque (Ed.), Trade, Technology and International Competitiveness; pp. 69-101, The World Bank, Washington.
- Cohen, W. and D. Levinthal, 1989, "Innovation and Learning: the Two Faces of R&D", The Economic Journal, N° 99 (September), pp. 569-596.

_____, 1990, "Absorptive Capacity: a New Perspective on Learning and Innovation", Administrative Sciences Quaterly, vol. 35, n° 1, pp. 128-152.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2007, "La seguridad energética de América Latina y el Caribe en el contexto mundial", Santiago de Chile.
- Comisión Nacional de Energía, 2007, "Cronología del sector petrolero brasileño", Brasil.
- Craita M., A., 2002, "Principales mecanismos para compartir conocimiento: el caso de cuatro grupos de trabajo del Instituto Mexicano del Petróleo", Maestría en Economía y

Gestión del Cambio Tecnológico, Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco, México.

- Cruz A., B., 1997, "Trayectoria tecnológica de catalizadores en el IMP: un análisis de patentes"; Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico, Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco, México.
- De Fuentes, C., 2000, "Influencia del impacto ambiental en la trayectoria tecnológica del área de catálisis del Instituto Mexicano del Petróleo"; Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico, Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco, México.
- Domínguez, L. y Brown, F., 2004, "Capacidades Tecnológicas: Propuesta de medición y agrupamiento para la industria mexicana"; Revista de la CEPAL, n° 83, Agosto.
- Dosi, G., 1988, "The nature of the innovation process", en G Dosi et al 1988, Technical Change and Economic Theory, cap. 10.
- Dutrénit, G. y Capdevielle, M., 1993, "El perfil tecnológico de la industria mexicana y su dinámica innovadora en la década de los ochenta", El Trimestre Económico, vol. 239, pp. 643-674.
- Dutrénit, G., 2001, working paper, "Managing uneven levels of knowledge: a challenge for building-up the first core capabilities in 'latecomer' firms".
- Empresa Colombiana de Petróleos, 2008, "Estados contables 2006 y 2007", Colombia.

_____, 2008, "Conferencia de inversiones- BID", Colombia.

_____, 2008, "Histórico de las cifras volumétricas operativas de Ecopetrol 2000-2007", Colombia.

_____, 2009, "Informe Anual 2008", Colombia.

_____, 2010, "Informe Anual 2009", Colombia.

_____, 2010, "Resultados financieros no auditados, para el primer trimestre de2010", Colombia.

- Figueiredo, P., 2001, "Technological Learning and Competitive Performance", Edward Elgar, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA.

_____, 2002, "Learning Processes features and technological capability accumulation: explaining inter-firm differences", in Technovation 22, pp.685-698.

- Figueroa, B., 2003, "Gestión de los procesos de innovación de catalizadores del IMP", Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico, Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco, México.
- Flórez, M., 2007, "Datos de las principales empresas petroleras estatales de la región", consultado el 18 de marzo de 2010, en: http://www.petroleo.com/pi/secciones/PI/ES/MAIN/IN/ARCHIVO/ARTICULOS/doc_60351_HTML.html?idDocumento=60351.
- Freeman, C., 1974, "La Teoría Económica de la Innovación Industrial", Editorial Alianza Universidad.
- Fuentes, S. y G. Díaz, 1988, "Catalizadores, ¿la piedra filosofal del siglo XX?", Fondo de Cultura Económico, México.
- Garay, L., 1998, "Colombia: estructura industrial e internacionalización 1967-1996", Universidad Nacional de Colombia.
- Gil, J., 1999, "Estructuración de una comunidad científica: el caso de la catálisis", Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico, Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco, México.
- Haggin, J., 1996, "Cross disciplinary strategies leading to advance in catalytic technology", Chemical & Engineering news, vol. 74.
- Herbert-Copley, B., 1990, "Technical Change in Latin American Manufacturing Firms: Review and Synthesis", World Development, vol. 18, n° 11, pp. 1457-1469.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 2005, "Seminario: Vinculación para la innovación en la industria petrolera", México

_____, 2008, "Seminario: Oportunidades de creación de conocimiento para el futuro energético de México", México.

_____, 2008, "Consolidado de indicadores operativos 2008", México.

- International Energy Agency (IEA), 2009, "Key World Energy Statistics 2009", Editorial Stedi Media, Francia.
- International Energy Agency (IEA)-OCDE, 2008, "World Energy Outlook 2008", Editorial Stedi Media, Francia.

_____, 2009, "World Energy Outlook 2009", Editorial Stedi Media, Francia.

- Katz, J., 1987, "Domestic technology generation in LDCs: a review of research findings", en Katz, J., (ed.), 1987, Technology Generation in Latin American Manufacturing Industries, London, Macmillan.

_____, 2007, working paper, "Cambios estructurales y ciclos de destrucción y creación de capacidades productivas y tecnológicas en América latina".

- Lall, S., 1993, "Technological Capabilities", in J.J. Salomon (ed.), The Uncertain Question: Science, Technology and Development; pp. 264-301, United Nations University Press, Tokyo.
- Leidinger, M., 1997, "Procesos Industriales", Fondo Editorial PUCP.
- Malerba, F., 1992, "Learning by Firms and Incremental Technical Change", The Economic Journal, n° 102, pp. 845-859.
- Maubert, A., 1991, "Catálisis y Catalizadores", Revista de la Academia de Catálisis, México.
- Meyers, R., editor, 1997, "Handbook of Petroleum Refining Processes", Editorial McGraw- Hill, Nueva York.
- Mogollón, M., 2008, "Retos tecnológicos de Petrobras", consultado el 5 de marzo de 2010, en el sitio electrónico de: http://www.petroleo.com/pi/secciones/PI/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_66658_HTML.html?idDocumento=66658.
- Mowery, D. and N. Rosenberg, 1979, "The influence of market demand upon innovation: a critical review of some recent empirical studies", Research Policy, vol. 8, n° 2, pp. 102-153.
- Nelson, R., 1981, "Research on Productivity Growth and Productivity Differences: Dead ends and departures", Journal of Economic Literature, vol. 19, pp. 1029-1064.
- Nonaka, I. y H. Takeuchi, 1999, "La organización creadora de conocimiento," Oxford University Press, México.
- OCDE-European Communities, 2005, Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación, "Manual de Oslo", Tercera Edición, Grupo Tagsa Editores.
- OCDE-FECYT-MCYT, 2002, Propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental, "Manual de Frascati", Editado por la Fundación Española Ciencia y Tecnología (FECYT).

- Oceguera, R., 2008, "El caso Petrobras", Monografía Final del Diplomado en Control y Gestión de Políticas Públicas, Argentina.
- Pacheco, F., 2007, "Escenario petrolero en América Latina durante 2007", consultado el 18 de marzo de 2010, en el sitio electrónico: http://www.petroleo.com/pi/secciones/PI/ES/MAIN/IN/ARCHIVO/ARTICULOS/doc_54721_HTML.html?idDocumento=54721.

_____, 2009, "Perspectivas del escenario petrolero en América Latina 2009", consultado el 5 de marzo de 2010, en el sitio electrónico: http://www.petroleo.com/pi/secciones/PI/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_68299_HTML.html?idDocumento=68299.

_____, 2010, "Panorama de la industria petrolera latinoamericana 2010", consultado el 18 de marzo de 2010, en el sitio electrónico: http://www.petroleo.com/pi/secciones/PI/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_76299_HTML.html?idDocumento=76299.

- Pavitt, K., 1984, "Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory", Research Policy, vol. 13, número 6, pp. 343-373.

_____, 2004, "The process of innovation", en Fagerberg, F., Mowery, M and R Nelson (eds), Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press.

- Pérez, C., 2004, "Revoluciones tecnológicas y capital financiero, la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza", Editorial Siglo XXI, México.
- Petrobras S.A., 2007, "Plan estratétigo 2020", Brasil.

_____, 2007, "Balanze social y ambiental", Brasil.

_____, 2007, "Plan de negocios 2008-2012", Brasil.

_____, 2009, "Informe anual 2008", Brasil.

_____, 2009, "Resultados del ejercicio 2008", Brasil.

_____, 2009, "Petrobras Magazine", Ediciones 55, 56 y 57, Brasil.

_____, 2009, "Plan de negocios 2009-2013", Brasil.

_____, 2010, "Resultados del ejercicio 2009", Brasil.

- Petróleos Mexicanos, 2007, "Base de datos institucional sobre refinerías", México.

_____, 2009, "Informe anual 2008", México.

- Polanyi, M., 1967, "The Tacit Dimension", Editorial Doubleday Anchor, EUA.

- Prada, R., 2001, "Principles and methods for accelerated catalyst design, preparation, testing and development, presentado en Futures trends in the worldwide oil refining industry, NATO Conference, Julio 16-30 2001, Portugal.
- RICYT-OEA-COLCIENCIAS, 2001, Normalización de Indicadores de Innovación Tecnológica en América Latina y el Caribe, "Manual de Bogotá".
- Rosenberg, N., 1976, "Tecnología y Economía", Editorial Gili, Barcelona.
- Schmookler, 1962, "Fuentes económicas de la actividad inventiva", en Rosenberg, 1979, Economía del cambio tecnológico, pp. 107-125.
- Schumpeter, J., 1939, "Business Cycles", Editorial McGraw Hill, New York.

_____, 1942, "Capitalism, Socialism and Democracy", Editorial Harper, New York.

_____, "Análisis del Cambio Económico". Ensayos sobre el ciclo económico, Fondo de Cultura Económica, México.

_____, 1978, "Teoría del Desenvolvimiento Económico". Fondo de Cultura Económica, México.

- Secretaría de Energía de México, 2007, "Prospectiva del Mercado de Petróleo crudo 2007-2016". México.

_____, 2007, "Prospectiva de Petrolíferos 2007-2016", México.

_____, 2008, "Refinación, la industria en México", México.

- Soria, M., 2004, "La organización de la innovación tecnológica: Los catalizadores del Instituto Mexicano del Petróleo", Doctorado en Estudios Organizacionales, Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa, México.
- Stiglitz, J., 2006, "Cómo hacer que funcione la globalización", Editorial Taurus, Madrid.
- Teitel, S., 1984, "La Creación de Tecnología en las economías Semi-industrializadas", en Teitel, S. y Westphal, L. (1984), Cambio Tecnológico y Desarrollo Industrial, FCE.
- Torres, A., 2006, "Aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas", Journal of Technology, Management & Innovation, vol. 1, número 5, pp. 12-24.
- Utterback, J. and W. Abernathy, 1975, "A dynamic model of process and product innovation", Omega, vol. 3, n° 6, pp. 639-656.
- Vegara, J., 1985, "Ensayos económicos sobre innovación tecnológica", Alianza editorial, cap. 3, pp. 145-162.

- Villavicencio, D., R. Arvanitis y L. Minzberg, 1995, "Aprendizaje tecnológico en la industria química mexicana", en Perfiles Latinoamericanos, vol.4, n° 7, pp. 121-148, Flacso.
- Warren, L., 2006, "Fluid catalytic cracking", en David, S., J., Jones y Peter, R., Handbook of petroleum processing, pp 239-286, Springer.
- Wierauch, W., 2007, "World catalysts: Industry study with forecast to 2005 & 2010, Fredonia Group, USA.
- Zarza, E., 2003, "Estrategia de propiedad intelectual en el área de catálisis del IMP", Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico, UAM Xochimilco, México.

Sitios Electrónicos:

Organización	***Sitio electrónico***
Asociación Mexicana para la Energía y Desarrollo Sustentable	www.amedes.org.mx
Agencia brasileña de energía eléctrica	www.aneel.gov.brg
Agencia Central de Inteligencia	www.cia.gov
Revista CNN	www.cnnmoney.com
Colegio de México	www.colmex.mx
Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México	www.conacyt.mx
Revista Crisis Energética	www.crisisenergetica.org
Revista Dinero	www.dinero.com
Empresa Colombiana de Petróleos	www.ecopetrol.com.co
Administración de Información sobre Energía, EU.	www.eia.doe.gov
Revista el Mundo del Petróleo	www.elmundodelpetroleo.com
Revista sobre el Mercado de la Energía	www.energia.com
Observatorio Ciudadano de Energía de México	www.energia.org.mx
Sitio electrónico con documentos de patentes	www.faqs.org/patents
Fábrica Carioca de Catalizadores	www.fccsa.com.br
Banco interamericano de desarrollo	www.iadb.org
Instituto Brasileño de Petróleo, Gas y Biocombustibles	www.ibp.org.br
Agencia Internacional de Energía	www.iea.org

Instituto Mexicano del Petróleo	www.imp.mx
Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual	www.impi.gob.mx
Revista sobre la comunidad de la ingeniería mexicana	www.ingenet.com.mx
Instituto Brasileño de la Propiedad Intelectual	www.inpi.gov.br
Periódico La Nación	www.lanacion.com
Revista sobre el petróleo en Latinoamérica	www.latinpetroleum.com
Revista sobre negocios	www.materiabiz.com
Revista sobre combustibles	www.nextfuel.com
Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico	www.oecd.org
Oil & Gas Journal	www.ogj.com
Organización de Países Exportadores de Petróleo	www.opec.org/home
Portal de servicios para la industria del petróleo y gas	www.panoramapetrolero.com
Petróleos Mexicanos	www.pemex.com
Petróleos Brasileños	www.petrobras.com
Revista sobre la industria de los hidrocarburos en América Latina	www.petroleo.com
Revista sobre Negocios	www.quiminet.com
Secretaría de Energía de México	www.sener.gob.mx
Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia	www.sic.gov.co
Sistema de Información sobre Comercio Exterior	www.sice.oas.org
Periódico digital en español	www.spanish.peopledaily.com.cn
Concejo Mundial de Energía	www.worldenergy.org
Revista Mundial sobre petróleo	www.worldoil.com

			FUNCIONES					
			INVERSIÓN			PRODUCCIÓN		
			Pre inversión	Ejecución del proyecto	Ingeniería de proceso	Ingeniería de producto	Ingeniería industrial	V d
GRADO DE COMPLEJIDAD	Básico	Rutinas (Basado en la experiencia)	Estudios de pre factibilidad y viabilidad, selección del sitio, programación de la inversión	Construcción civil, servicios auxiliares, montaje de equipos y puesta en marcha	Depuración, equilibrio, de mantenimiento preventivo del control de calidad, asimilación de la tecnología de proceso	Asimilación del diseño de productos, menor adaptación a las necesidades del mercado	Flujo de trabajo, programación, estudios de tiempos y movimientos, control de inventarios	C lo bi se in in co pr
	Intermedio	Adaptación (Basado en la búsqueda)	Búsqueda de fuentes de tecnología, negociación de contratos en términos adecuados, sistemas de información	Adquisición de equipos, ingeniería de detalle, formación y contratación de personal calificado	Equipo de estiramiento, adaptación de procesos y ahorro de costos, concesión de licencias de nuevas tecnologías	Mejora de la calidad del producto, licenciamiento y asimilación de tecnología de nuevos productos importados	Monitoreo de la productividad, mejoramiento de la coordinación	Tr de de pr lo co en
	Avanzado	Innovativa (Basado en la investigación)		Diseño de procesos básicos, diseño de equipos y suministros	Innovación de procesos al interior, investigación básica	Innovación de productos al interior, investigación básica		Ca as D lic de pr

Fuente: Traducción propia, a partir de Lall, (1993).

Cuadro 2.1 Relación de las entrevistas realizadas

Nombre del entrevistado	*Institución*	*Cargo*	*Tipo de comunicación*	*Fecha*
Javier Hoyos	Ecopetrol	Especialista en refinación y petroquímica	Personal	Agosto 11 de 2009
Tomás Beltrán	Instituto Mexicano del Petróleo	Especialista en ingeniería molecular	Personal	Septiembre 2 de 2009
Javier Hoyos	Ecopetrol	Especialista en refinación y petroquímica	Personal	Diciembre 21 de 2009
Tomás Beltrán	Instituto Mexicano del Petróleo	Especialista en ingeniería molecular	Telefónica	Febrero 12 de 2010
Alejandra López	Petrobras	Gerencia de comunicación	Telefónica	Febrero 15 de 2010
Milton Pimentel	Petrobras	Gerencia del área comunicación	Correo electrónico	Marzo 22 de 2010
Tomás Beltrán	Instituto Mexicano del Petróleo	Especialista en ingeniería molecular	Telefónica	Abril 29 de 2010
Milton Pimentel	Petrobras	Gerencia de comunicación	Correo electrónico	Mayo 4 de 2010
Javier Hoyos	Ecopetrol	Especialista en refinación y petroquímica	Telefónica	Mayo 6 de 2010
Liza Ramalho Albuquerque	Petrobras	Investigadora del centro de investigaciones	Correo electrónico	Mayo 10 de 2010
Elena Martinis	Petrobras	Investigadora del centro de investigaciones	Telefónica	Mayo 11 de 2010
Paloma Heringer	Petrobras	Investigadora del centro de investigaciones	Correo electrónico	Mayo 18 de 2010
Tomás Beltrán	Instituto Mexicano del Petróleo	Especialista en ingeniería molecular	Telefónica	Mayo 19 de 2010
Javier Hoyos	Ecopetrol	Especialista en refinación y petroquímica	Telefónica	Mayo 21 de 2010
Tomás Beltrán	Instituto Mexicano del Petróleo	Especialista en ingeniería molecular	Personal	Mayo 25 de 2010

Continúa en la siguiente página.

Víctor Martínez	Instituto Mexicano del Petróleo	Analista de mercado de catalizadores	Telefónica	Junio 3 de 2010

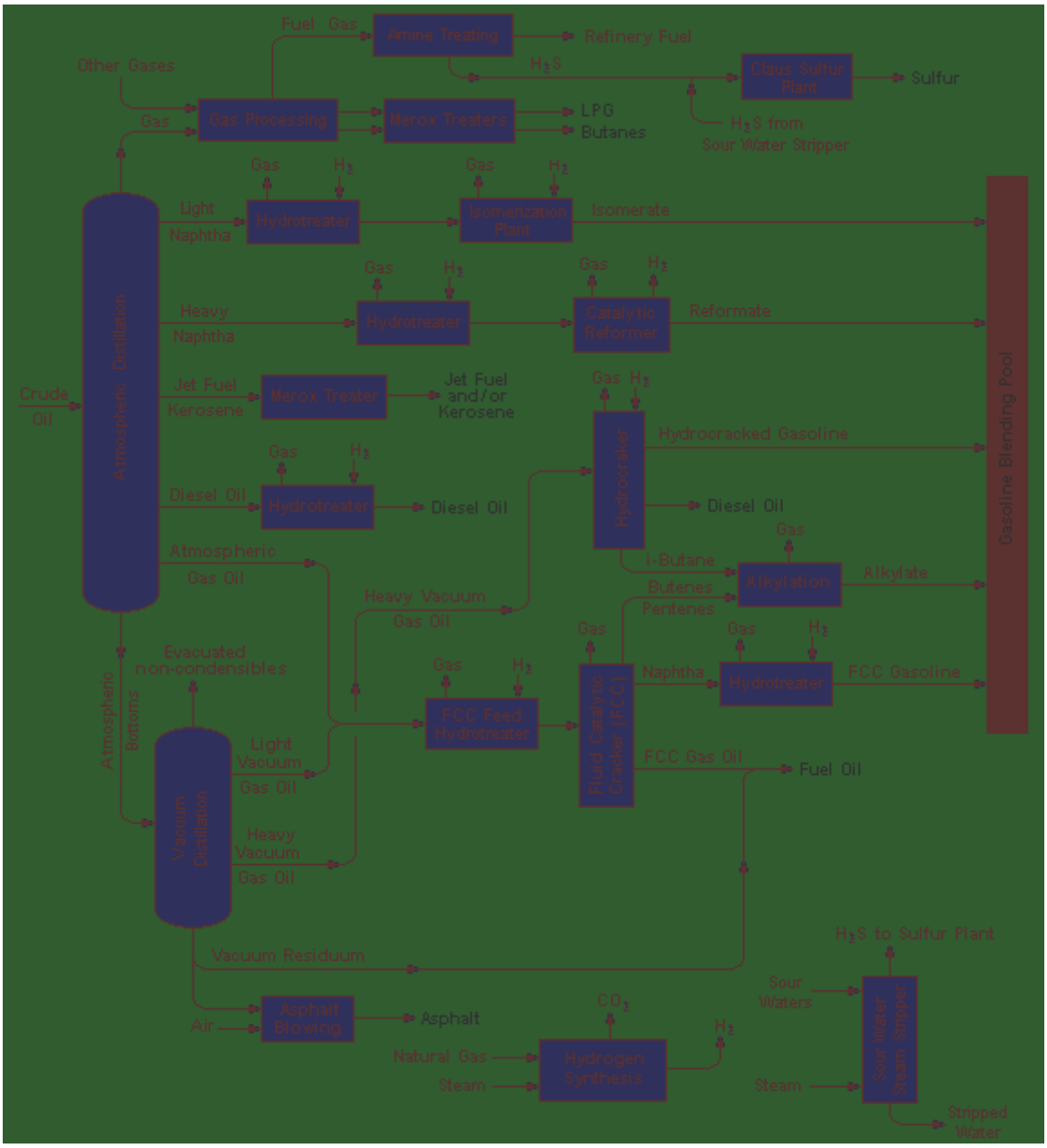
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2.2 Descripción de las principales Clasificaciones Internacionales de Patente

Sección	***Campo***	***Descripción del campo***
B (Técnicas industriales diversas)	B01	Procedimientos o aparatos físicos o químicos en general.
	B03	Separación de sólidos por utilización de líquidos o por utilización de mesas o cribas de pistón neumático; separación magnética o electrostática de materiales sólidos a partir de materiales sólidos o de fluidos; separación por campos eléctricos de alta tensión.
	B05	Pulverización o atomización en general; aplicación de líquidos u otras materias fluidas a superficies, en general.
	B65	Transporte; embalaje; almacenado; manipulación de materiales delgados o filiformes.
C (Química, metalurgia)	C01	Química Inorgánica.
	C02	Tratamiento del agua, agua residual, de alcantarilla o fangos.
	C07	Química Orgánica.
	C08	Compuestos macromoleculares orgánicos; su preparación o producción química; composiciones basadas en compuestos macromoleculares.
	C10	Industrias del petróleo, gas o coque; gas de síntesis que contiene monóxido de carbono; combustibles; lubricantes; turba.
F (Mecánica, iluminación, calefacción, armamento, voladura)	F23	Aparatos de combustión; procesos de combustión.
	F28	Intercambio de calor en general.

Fuente: Elaboración propia a partir de OMPI (2010), Consultado en la página web: http://cip.oepm.es/ipcpub/, 18 de Septiembre de 2010.

Figura 3.1 Esquema general del sistema de refinación



Fuente: Tomado de la página web: http://ingenieriapro.blogspot.com/2008/11/diagrama-de-flujo-de-refinacin-de.html, consultada el 14 de Septiembre de 2010.

Cuadro 3.1 Principales procesos de refinación del petróleo

Proceso	*Características*
Destilación atmosférica	Consiste en la separación de la mezcla de hidrocarburos líquidos en componentes más específicos, mediante la aplicación de calor hasta lograr vaporizar cada componente, aprovechando que cada uno de ellos posee diferente punto de ebullición.
Destilación al vacío	Proceso intermedio para extraer, del residuo atmosférico, el gasóleo usado como carga a las plantas de desintegración catalítica FCC, así como las fracciones para elaboración de aceites lubricantes.
Desintegración catalítica	Proceso que consiste en descomponer las moléculas de hidrocarburos más grandes, pesadas o complejas, en moléculas más ligeras y simples. Se lleva a cabo mediante la aplicación de calor y presión y, mediante el uso de catalizadores (térmica). La utilización de este proceso permite incrementar el rendimiento de gasolina y de otros productos importantes que tienen aplicaciones diversas en la industria del petróleo.
Hidrotratamiento	Proceso cuyo objetivo es estabilizar catalíticamente los petrolíferos, además de eliminar los componentes contaminantes que contienen, haciéndolos reaccionar con hidrógeno a temperaturas comprendidas entre 315 y 430°C a presiones que varían de 7 a 210kg/cm2, en presencia de catalizadores diversos.
Reducción de viscosidad	Proceso empleado en la refinación de petróleo para obtener hidrocarburos de bajo peso molecular tales como gases, gasolina, gasóleos y residuo de baja viscosidad, a partir de residuos de vacío de alta viscosidad.
Coquización	Equipo instalado en una línea de conducción de gas para incrementar la presión y garantizar el flujo de fluido a través de la tubería.
Alquilación	Los procesos de Alquilación comprenden la combinación de una olefina con un hidrocarburo parafínico o aromático, en presencia de un catalizador. El proceso involucra la unión de propileno o butilenos con isobutano, en presencia de ácido fluorhídrico o sulfúrico como catalizador, para formar una isoparafina denominada alquilado ligero.
Reformación	Proceso que mejora la calidad antidetonante de fracciones de la gasolina modificando la estructura molecular. Cuando se lleva a efecto mediante calor, se le conoce como reformación térmica y como reformación catalítica, cuando se le asiste mediante un catalizador.
Isomerización	Proceso mediante el cual se altera el arreglo fundamental de los átomos de una molécula sin adherir o sustraer nada de la molécula original.
TAME y MTBE	Oxigenantes que se utilizan como aditivo para incrementar el octanaje en la gasolina, y su utilización depende de la legislación (ambiental) con relación a la composición y calidad de las gasolinas.

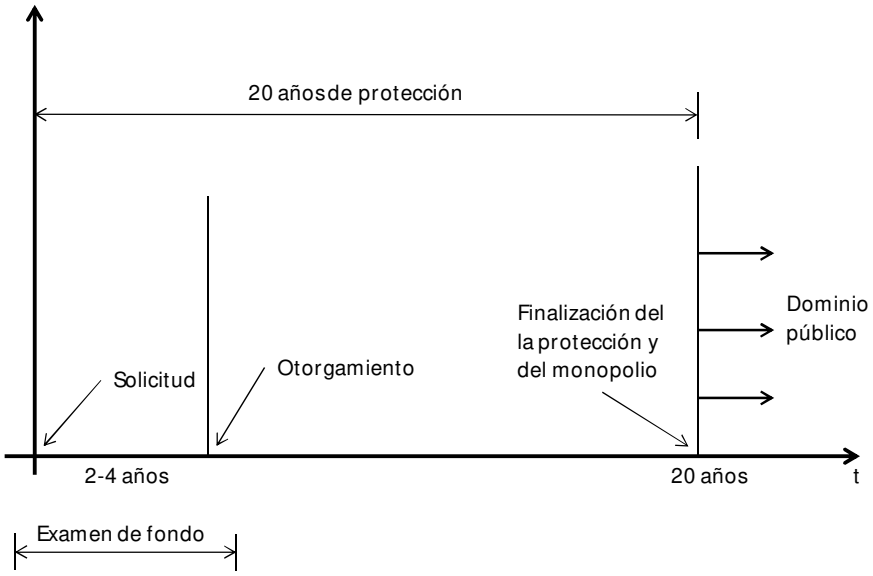
Fuente: SENER, Prospectiva de petrolíferos 2002-2011.

Cuadro 3.2 El paradigma de la catálisis y las trayectorias tecnológicas de catalizadores en la industria petrolera

Paradigmas catalíticos	
Homogénea	No hay separación de fases. Los catalizadores son moléculas que comparten el solvente con los reactivos o se incorporan directamente a los mismos. Estos catalizadores son de alta velocidad de reacción. Su inconveniente es la dificultad para separar el catalizador de su producto. Se utiliza en procesos petroquímicos específicos.
Heterogénea	El catalizador es insoluble en los sistemas químicos. Resulta de reacciones en fase líquida o gaseosa con catalizadores en estado sólido. Las reacciones químicas están relacionadas con las propiedades químicas y físicas de la superficie del catalizador. Es conveniente al no presentar dificultad para separar el catalizador de su producto. Se utiliza ampliamente en procesos de refinación de combustibles y petroquímicos específicos.
Enzimática	Reacciones químicas que ocurren con sistemas vivientes o enzimas. Todas las enzimas son proteínas. La gran ventaja de estos biocatalizadores es su alto grado de actividad y selectividad. Sin embargo, en cuanto a su estabilidad no siempre se logra alcanzar en los términos esperados. Se utiliza ampliamente en la industria de bebidas, alimentos y farmacéuticos.
Catalizador Heterogéneo	
Catalizador	Compuesto que promueve reacciones químicas -aumentando la velocidad-, sin ser consumido en las mismas. Se compone de tres elementos: 1) Soporte, elemento de superficie porosa en cuyas cavidades se fija el elemento activo y promotores; 2) Fase activa, elemento que activa una reacción química específica con un menor consumo de energía; y 3) Promotor, Otros elementos que contribuyen en determinado sentido durante las reacciones químicas.
Reacción	Mecanismo de reacciones químicas y físicas sobre la superficie porosa, en cada una de las cavidades del soporte, entre el elemento activo y el elemento a transformar.
Trayectorias tecnológicas asociadas a procesos catalíticos heterogéneos	
Desintegración	FCC, Craqueo térmico, Reducción Viscosidad, Hidrocraqueo, Coquización, Gasificación.
Re-arreglo molecular	Reformación, Isomerización, Hidrogenación, Saturación, Hidrodesulfuración, Deshidrogenación.
Construcción Molecular	Alquilación, Eterificación, polimerización, Dimerización.

Fuente: Tomado de Soria (2004), elaborado a partir de Barnés (1997); Díaz y Fuentes (1988, 1997); Pérez (2002).

Figura 4.1 Ciclo de vida de la patente



Fuente: Tomado de Aboites y Soria (2008).

Cuadro 4.1 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Brasil (1975-2009), por periodo

Periodo	*Solicitadas*	*Otorgadas*
1975-1977	13	13
1978-1980	13	11
1981-1983	37	20
1984-1986	63	22
1987-1989	46	16
1990-1992	30	15
1993-1995	26	18
1996-1998	53	19
1999-2001	59	3
2002-2004	89	1
2005-2007	86	0
2008-2009	5	0
Total	*520*	*138*

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de *Basecatalizinpi.*

Cuadro 4.2 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Brasil (1975-2009), por solicitante

Posición	*Solicitante*	*País*	*Otorgadas*	*%*
1	Petrobras S.A.	Brasil	23[a]	16.55
2	Exxon Research Engineering Comp.	Estados Unidos	13	9.35
3	Shell International Research	Holanda	8	5.76
4	Hoechst AG	Alemania	7	5.04
5	Mobil Oil Corporation	Estados Unidos	7	5.04
6	Phillips Petroleum Company	Estados Unidos	7	5.04
7	Engelhard Corporation	Estados Unidos	5	3.6
8	Polialden Petroquímica S.A.	Brasil	5[b]	3.6
9	UOP Incorporated	Estados Unidos	5	3.6
10	Union Carbide Corporation	Estados Unidos	4	2.88
11	Texaco Development Corporation	Estados Unidos	3	2.16
12	Basf Global	Alemania	2	1.44
13	Degussa	Alemania	2	1.44
14	Dow Chemical Company	Estados Unidos	2	1.44
15	Martin Umwelt and Energietech	Alemania	2	1.44
16	Nalco Chemical Company	Estados Unidos	2	1.44
17	Oxiteno S.A. Industria e Comercio	Brasil	2	1.44
18	Standard Oil Company	Estados Unidos	2	1.44
19	Akzo Nobel N.V.	Holanda	1	0.72
20	Forschung GMBH	Alemania	1[c]	0.72
21	Wintershall AG	Alemania	1[c]	0.72
22	Borealis Polymers Oy	Finlandia	1	0.72
23	Catalytic Distillation Technologies	Estados Unidos	1	0.72
24	Chevron Research	Estados Unidos	1	0.72
g25	Empresa Colombiana de Petróleos	Colombia	1[c]	0.72
26	Universidad Nacional de Colombia	Colombia	1[c]	0.72

Continúa en la siguiente página

Continuación del cuadro 4.2

27	Corning Incorporated	Estados Unidos	1	0.72
28	Eka Chemicals AB	Suecia	1	0.72
29	Enricerche S.P.A.	Italia	1[c]	0.72
30	Agip Petroli S.P.A.	Italia	1[c]	0.72
31	Ferro Corporation	Estados Unidos	1	0.72
32	Ford Motor Company	Estados Unidos	1	0.72
33	Halcon SD Group	Estados Unidos	1	0.72
34	Institut Français Du Pétrole	Francia	1	0.72
35	International Fuel Cells	Estados Unidos	1	0.72
36	Intevep S.A.	Venezuela	1	0.72
37	M. W. Kellogg Company	Estados Unidos	1	0.72
38	Kureha Chemical Industry LTDA.	Japón	1	0.72
39	Mann and Hummel Filter	Alemania	1	0.72
40	Merpro Tortek LTDA.	Reino Unido	1	0.72
41	Den Norske Stats Oljeselskap AS	Noruega	1	0.72
42	Pennwlt Corporation	Estados Unidos	1	0.72
43	Petro-Canada Incorporated	Canadá	1	0.72
44	Polibrasil S.A.	Brasil	1[c]	0.72
45	Petroleum Fermentations	Holanda	1	0.72
46	Procter and Gamble	Estados Unidos	1	0.72
47	Puradyn Filter Technologies Inc	Estados Unidos	1	0.72
48	Rhone Poulenc Chimie Inc	Francia	1	0.72
49	Robco International Corporation	Estados Unidos	1	0.72
50	Sasol LTDA.	Estados Unidos	1	0.72
51	Scambia Industrial Development AG	Liechtenstein	1	0.72
52	Schwarzenbek	Alemania	1	0.72
53	Solutia Incorporated	Estados Unidos	1	0.72
54	Stone and Webster Engineering Corp	Estados Unidos	1	0.72

Continúa en la siguiente página

Continuación del cuadro 4.2

55	Taylor Freezer Brazil	Brasil	1	0.72
56	Total Engineering and Research	Estados Unidos	1	0.72

Fuente: Elaboración propia con datos de la *Basecatalizinpi*.

[a] Comparte 4 patentes con otras dos empresas
[b] Comparte 3 patentes con otra empresa
[c] Comparte la patente con otra empresa

Cuadro 4.3 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en Colombia (1975-2009), por periodo

Periodo	*Solicitadas*	*Otorgadas*
1975-1977	2	2
1978-1980	2	0
1981-1983	0	0
1984-1986	0	0
1987-1989	9	8
1990-1992	19	18
1993-1995	15	15
1996-1998	22	13
1999-2001	18	10
2002-2004	11	7
2005-2007	38	3
2008-2009	13	0
Total	*147*	*76*

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de *Basecatalizsic.*

Cuadro 4.4 Patentes sobre catalizadores otorgadas en Colombia (1975-2009), por solicitante

Posición	*Solicitante*	*País*	*Otorgadas*	*%*
1	Shell Internationale Research	Holanda	9	12
2	The Dow Chemical Company	Estados Unidos	9	12
3	Phillips Petroleum Company	Estados Unidos	7	9.3
4	B.P. Chemicals Limited	Reino Unido	6	8
5	Union Carbide Chemicals Inc.	Estados Unidos	5	6.7
6	Exxon Research and Engineering	Estados Unidos	5 [a]	6.7
7	Crompton GMBH	Alemania	2	2.7
8	Himont Incorporated	Estados Unidos	2	2.7
9	UOP Inc	Estados Unidos	2	2.7
10	ACMA Limited	Reino Unido	1	1.3
11	Atlantic Richfield Company	Estados Unidos	1	1.3
12	Basf Aktiengesellschaft	Alemania	1	1.3
13	Chevron Phillips Chemical Comp.	Estados Unidos	1	1.3
14	Clariant GMBH	Alemania	1	1.3
15	Coastal Catalyst Technology, Inc.	Estados Unidos	1	1.3
16	DSM N.V.	Holanda	1	1.3
17	Ecopetrol S.A.	Colombia	1	1.3
18	Empresa Nacional Minera LTDA.	Colombia	1	1.3
19	Energía Andina LTDA.	Colombia	1	1.3
20	Engelhard Corporation	Estados Unidos	1	1.3
21	Enitecnologie S.P.A.	Italia	1	1.3
22	Equistar Chemicals LP.	Estados Unidos	1	1.3
23	Foster Wheeler Energy Corp.	Estados Unidos	1	1.3
24	Grande - Paroisse S.A.	Francia	1	1.3
25	GTC Techonology Corporation	Estados Unidos	1	1.3
26	Imperial Chemical Industries PLC	Reino Unido	1	1.3

Continúa en la siguiente página

Continuación del cuadro 4.4

27	Intevep S.A.	Venezuela	1	1.3
28	KFX Inc.	Estados Unidos	1	1.3
29	Kvaerner Process Technology	Reino Unido	1	1.3
30	Metallgesellschaft AG.	Alemania	1	1.3
31	Peaboy Coal Company	Estados Unidos	1	1.3
32	Rohm and Hass Company	Estados Unidos	1	1.3
33	Texaco Development Corporation	Estados Unidos	1	1.3
34	The B.F. Goodrich Company	Estados Unidos	1	1.3
35	Tioxide Specialties Limited	Reino Unido	1	1.3
36	W.R. Grace & Co -Conn	Estados Unidos	2 [a]	2.7

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de *Basecatalizsic.*

[a] Comparte una patente con otra empresa

Cuadro 4.5 Patentes sobre catalizadores solicitadas y otorgadas en México (1975-2009), por periodo

Periodo	***Solicitadas***	***Otorgadas***
1975-1977	37	37
1978-1980	44	44
1981-1983	76	76
1984-1986	42	41
1987-1989	39	34
1990-1992	72	35
1993-1995	93	60
1996-1998	79	44
1999-2001	81	38
2002-2004	99	35
2005-2007	93	21
2008-2009	45	0
Total	*800*	*465*

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de *Basecatalizmex.*

Cuadro 4.6 Patentes sobre catalizadores otorgadas en México (1975-2009), por solicitante

Posición	*Solicitante*	*País*	*Otorgadas*	*%*
1	Instituto Mexicano del Petróleo	México	53	11.40
2	Exxon-Mobil	Estados Unidos	39 [a]	8.39
3	Phillips Petroleum Company	Estados Unidos	35	7.53
4	Institut Francais du Petrole	Francia	33	7.10
5	Chevron-Texaco	Estados Unidos	29	6.24
6	UOP Llc.	Estados Unidos	26	5.59
7	Shell Internationale Research	Holanda	22	4.73
8	Ashland Oil	Estados Unidos	18	3.87
9	Engelhard Corporation	Estados Unidos	13	2.80
10	Gobierno de Canadá	Canadá	11	2.37
11	W. R. Grace & Co.	Estados Unidos	11 [b]	2.37
12	Hydrocarbon Research Inc.	Estados Unidos	10	2.15
13	Union Carbide Chemicals	Estados Unidos	10	2.15
14	Equistar Chemicals L.P.	Estados Unidos	9	1.94
15	Intevep S.A.	Venezuela	8	1.72
16	Standard Oil Company	Estados Unidos	8	1.72
17	Atlantic Richfield Company	Estados Unidos	7	1.51
18	Enichem S.P.A.	Italia	7	1.51
19	Snamprogetti S. P. A.	Italia	6	1.29
20	Compagnie Francaise de Raffinage	Francia	5	1.08
21	Bayer Aktiengesellchaft	Alemania	4	0.86
22	BP Chemicals Limited	Reino Unido	4	0.86
23	Catalytic Distillation Technologies	Estados Unidos	4	0.86
24	Lummus Company	Estados Unidos	4	0.86
25	Montell Technology Company BV	Holanda	4	0.86
26	Akzo Nobel N.V.	Holanda	3	0.65

Continúa en la siguiente página

Continuación del cuadro 4.6

27	Rhone Poulenc	Francia	3	0.65
28	Scientific Design Company, Inc.	Estados Unidos	3	0.65
29	Stonc & Webster Engineering Corp.	Estados Unidos	3	0.65
30	Univation Technologies Llc.	Estados Unidos	3	0.65
31	Dupont	Estados Unidos	2	0.43
32	Energy Biosystems Corp.	Estados Unidos	2	0.43
33	EON Chemical Patents Inc	Estados Unidos	2	0.43
34	Kellogg Company	Estados Unidos	2	0.43
35	Monsanto Company	Estados Unidos	2	0.43
36	Montell North America Inc.	Estados Unidos	2	0.43
37	Petróleo Brasileiro S.A.	Brasil	2	0.43
38	Rhodia Fiber and Resin	Francia	2	0.43
39	Societe Francaise des Catalyse	Francia	2	0.43
40	Solvay Polyolefin	Bélgica	2	0.43
41	Univ. Autónoma Metropolitana	México	2	0.43
42	Alberta Oil Sands Technology	Canadá	1	0.22
43	Aluminium Pechiney	Francia	1	0.22
44	American Cyanamid Company	Estados Unidos	1	0.22
45	Amoco Corporation	Estados Unidos	1	0.22
46	Asahi Kasei Kabushiki Kaisha	Japón	1	0.22
47	B. F. Goodrich Company	Estados Unidos	1	0.22
48	Basell Technology Company B.V.	Italia	1	0.22
49	Biolex Corporation	Estados Unidos	1	0.22
50	BP America Inc.	Estados Unidos	1	0.22
51	Casale Chemicals S.A.	Suiza	1	0.22
52	Chemical Research & Licensing	Estados Unidos	1	0.22
53	China Petro-Chemical Corporation	China	1	0.22
54	Coastal Catalyst Technology Inc	Estados Unidos	1	0.22
55	Consortium Fur Elektrochemische	Alemania	1	0.22

Continúa en la siguiente página

Continuación del cuadro 4.6

56	CRI Internacional	Estados Unidos	1	0.22
57	CUP Inc.	Estados Unidos	1	0.22
58	DSM N.V.	Holanda	1	0.22
59	Eastman Chemical Company	Estados Unidos	1	0.22
60	ECP Enichem Polimeri S.R.L.	Italia	1	0.22
61	Engineering and Research Company	Estados Unidos	1	0.22
62	Foster Wheeler Energy Corporation	Estados Unidos	1	0.22
63	Fullman Incorporated	Estados Unidos	1	0.22
64	Haldor Topsoe A/S	Dinamarca	1	0.22
65	Hercules Incorporated (US)	Estados Unidos	1	0.22
66	Hoechst Celanese Corporation (US)	Estados Unidos	1	0.22
67	Huntsman Petrochemical Corp.	Estados Unidos	1	0.22
68	Hyperion Catalysts International Inc.	Estados Unidos	1	0.22
69	Imperial Chemical Industries PLC.	Estados Unidos	1	0.22
70	Johnson Matthey Public Limited	Reino Unido	1	0.22
71	Linde Saudi Basic Industries Corp	Alemania	1	0.22
72	Manufacturing & Technology Inc.	Estados Unidos	1	0.22
73	Minnesota Mining Company	Estados Unidos	1	0.22
74	Montedison S. P. A. (IT)	Italia	1	0.22
75	NDEO Nalco Energy Services L.P.	Estados Unidos	1	0.22
76	PCD Polymere Gesellschaft M.B.H.	Austria	1	0.22
77	Pennwalt Corporation	Estados Unidos	1	0.22
78	Petroleum Energy Center	Japón	1	0.22
79	Pfizer Inc.	Estados Unidos	1	0.22
80	Produits Chimiques Ugine Kuhlman	Francia	1	0.22
81	Quaker Chemical Corporation	Estados Unidos	1	0.22
82	Societe Anonyme Elf France	Francia	1	0.22
83	Societe Chimique des Charbonnages	Francia	1	0.22
84	Süd-Chemie, Inc	Estados Unidos	1	0.22

Continúa en la siguiente página

Continuación del cuadro 4.6

85	The Babcock & Wilcox Company	Estados Unidos	1	0.22
86	The Dow Chemical Company	Estados Unidos	1	0.22
87	The Dow Global Technologies Inc	Estados Unidos	1	0.22
88	Unipure Corporation	Estados Unidos	1	0.22
89	Veg-Gasinstituut N.V.	Holanda	1	0.22

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de *Basecatalizmex.*

[a] Comparte tres patente con otra empresa
[b] Comparte una patente con otra empresa