

IS CATALISIS CATALISIS CATALISIS CATALISIS CATALISIS CATALISIS CATALISIS CATALISIS CATALISIS CATALISIS C

LA TRÍADA INNOVADORA

I y D en el Instituto Mexicano del Petróleo

Jaime Aboites, José Manuel Domínguez y Tomás Beltrán



Copyrighted material

LA TRÍADA INNOVADORA
Investigación y desarrollo en catálisis
La experiencia del Instituto
Mexicano del Petróleo

por

JAIMÉ ABOITES AGUILAR

(IAM-Xochimilco)

JOSÉ MANUEL DOMÍNGUEZ

(Instituto Mexicano del Petróleo)

TOMÁS BELTRÁN OVIEDO

(Instituto Mexicano del Petróleo)





siglo xxi editores, s.a. de c.v.

CERRO DEL AGUA 248, DELEGACIÓN COYOACÁN, 04310, MÉXICO, D.F.

siglo xxi editores argentina, s.a.

TUCUMÁN 1821, 7 N, C1050AAG, BUENOS AIRES, ARGENTINA

portada de maría luisa martínez passarge

primera edición, 2004

© siglo xxi editores, s.a. de c.v.

en coedición con el instituto mexicano del petróleo (imp)

isbn 968-23-2537-4

derechos reservados conforme a la ley

impreso y hecho en méxico/printed and made in mexico

México ha significado: apertura comercial, repliegue del Estado en la economía, cambio en los marcos regulatorios y un predominio creciente de las fuerzas de mercado como mecanismo fundamental de asignación de recursos. Este paso de una visión de industrialización a otra ha cimbrado las instituciones de I y D en México, dentro de las cuales el IMP es la más importante. Esta nueva situación plantea interrogantes sobre la actividad de I y D del IMP y funcionamiento de la *Triada Innovadora*: ¿hasta dónde deben influir los mecanismos del mercado y hasta dónde la intervención del gobierno? Sin plantear como excluyentes el mercado o la intervención del gobierno, sino más bien como complementarios y compensatorios, sobre todo cuando el mercado no asigna adecuadamente los recursos de I y D⁷ y se trata de una actividad fundamental para el sector energético del país. Esta problemática ha sido planteada por R. Wade en su libro *Governing the Market* donde el autor muestra, precisamente, cómo las economías en desarrollo, del Sudeste Asiático, han incursionado exitosamente en la economía globalizada gracias a la intensa intervención del gobierno en los distintos sectores productivos de sus economías.⁸ En casi cuatro décadas el IMP ha acumulado conocimientos e información tecnológica en la refinación del petróleo y ha creado un *core competence* que es estratégico para Pemex por diversas razones. Primeramente, porque el IMP tiene la capacidad de valorar la penetración del nuevo paradigma tecnológico (las TIC)⁹ dentro de la industria petrolera, precisar cuáles son las corporaciones multinacionales más dinámicas en la I y D que le interesan a Pemex así como el conocimiento y la capacidad institucional para desarrollar programas de I y D con universidades o instituciones de investigación (nacionales y extranjeras). Además, el IMP tiene la capacidad organizativa que le permite establecer alianzas tecnológicas y programas de I y D de largo plazo para adecuarse a la evolución de la frontera tecnológica en catálisis y otras tecnologías. Esto es una ventaja competitiva en el terreno de la I y D que no puede estar sometida directamente a los

⁷ Éste es un problema planteado por la teoría económica convencional desde los años sesenta. K. Arrow, Premio Nobel de Economía hizo contribuciones destacadas mostrando las incapacidades del mercado para asignar de manera óptima el financiamiento en I y D. Véase K. Arrow (1969).

⁸ R. Wade (1990), *Governing the Market. Economic Theory and the Role of Government in East Asian Industrialization*. Traducido por el Fondo de Cultura Económica en 1999.

⁹ Tecnologías de la Información y Comunicación.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este libro es fruto no solamente de los autores, sino también de la contribución de investigadores de instituciones nacionales e internacionales, así como de funcionarios del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) cuyo conocimiento fue fundamental para orientar las diversas líneas de exploración sobre la I y D en el IMP en el Área de Catálisis.

En particular queremos agradecer a Carlota Pérez (Visiting Fellow, University of Cambridge, Reino Unido), Mario Cimoli (CEPAL-ONU, Chile), Kurt Unger (CIDE), André Furtado (Universidad de Campinas, Brasil), y de la UAM-Xochimilco los profesores Mario Capdevielle, Manuel Soria y Arturo Torres del Área de Economía Industrial e Innovación (Departamento de Producción Económica) y la Maestría en Economía y Gestión del Cambio Tecnológico. Magdalena Saleme, jefa del Departamento de Producción Económica y Arturo Anguiano, director de la DCSH de la UAM-Xochimilco también apoyaron el desarrollo de la investigación. En el IMP la colaboración de Marcelo Lozada, coordinador del Programa de Investigación y Desarrollo de Ingeniería Molecular, quien incorporó el grupo de investigación (proyecto FIES 0.00815) dentro de su programa; Rodolfo Quintero, coordinador del Programa de Investigación y Desarrollo de Biotecnología del Petróleo; Julián Castellanos, director ejecutivo de Operación; José Luis Cano, coordinador del Programa de Investigación y Desarrollo de Tratamiento de Crudo Maya; José Luis Rodríguez, director ejecutivo de Comercialización; la gerencia de Comunicación Social y Relaciones Públicas; Enrique Ezeta Gómez, secretario técnico de la Dirección General; Alfonso Ramírez Lavín, coordinador de asesores de la Dirección General; César Figueroa, director regional Zona Centro, Óscar Bermúdez Mendizábal, gerente de soluciones en catalizadores. Así como también a Patricia Pérez, Ernesto Galván, Teresa Cortez de la Paz, Blanca Medellín, Héctor Armendáriz, Manuel Bautista, Sandra Arvizu, todos ellos investigadores del Área de Catálisis del IMP.

Finalmente, queremos expresar nuestro agradecimiento al doctor Gustavo Chapela, director del IMP, quien estuvo dispuesto a discutir los aspectos más polémicos del libro y a promover toda clases de enlaces y vínculos que fueron necesarios para profundizar nuestro análisis. Esta actitud fue decisiva para nuestra investigación.

JAIME ABOITES, JOSÉ MANUEL DOMÍNGUEZ Y TOMAS BELTRÁN

PREFACIO

JAIME ABOITES

Durante más de seis décadas Pemex-Refinación ha demandado de manera permanente y creciente, una compleja variedad de catalizadores que incorporan las innovaciones recientes como insumo fundamental del proceso de refinación del petróleo crudo para abastecer el consumo nacional de combustibles. Esta demanda de catalizadores mejorados tecnológicamente ha sido satisfecha a través de dos vías, básicamente. En orden histórico la primera lo fueron las corporaciones multinacionales especializadas en alta tecnología e insumos de la industria petrolera.¹ La segunda vía ha sido lo que en este libro denominamos la *Triada Innovadora*, la cual está formada por una compleja red de instituciones entre las que destacan las siguientes: el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Pemex-Refinación y las corporaciones multinacionales que participan como socios tecnológicos.²

Desde mediados de los años setenta los primeros programas de Investigación y Desarrollo (I y D) en catálisis del IMP desencadenaron un intenso proceso de aprendizaje tecnológico, construcción de capacidades tecnológicas³ y generación de un fuerte *catching-up* hacia la frontera tecnológica de catalizadores determinada por las corporaciones multinacionales especializadas en tecnología de la industria petrolera.⁴ El eje del dinamismo de la actividad de I y D en el IMP y la producción de catalizadores mejorados ha sido, por una parte, la cre-

¹ Esta fuente de abastecimiento se inicia en los años posteriores a la nacionalización de la industria petrolera. Se trata de corporaciones multinacionales como Engelhard, W. R. Grace, UOP, Sud-Chemie, Akzo Nobel, IFF, Criterion, etcétera.

² La figura de socio tecnológico se refiere a aquellas corporaciones multinacionales que participan, bajo una reglamentación establecida, en la producción de los catalizadores diseñados por el IMP. Consúltese los capítulos 4 y 6 de este libro.

³ Siguiendo a S. Lall (1994) se entiende por capacidades tecnológicas en este libro a las que "se refieren a las habilidades de una empresa para adquirir el control (asimilar, adaptar, difundir y mejorar) de las nuevas tecnologías y utilizarlas con éxito en la comercialización de sus productos. Las capacidades tecnológicas pueden referirse a capacidades de inversión, producción o vinculación" (p. 237).

⁴ El dinamismo de la *frontera tecnológica* en catalizadores está determinado por las corporaciones multinacionales señaladas en la primera nota al pie.

ciente proporción en la refinación de petróleo pesado (tipo Maya)⁵ y, por la otra, la demanda de nuevos combustibles requeridos por el Sistema Nacional de Refinación bajo la presión de las regulaciones ambientales en las últimas dos décadas. En el paso de la primera a la segunda vía de abastecimiento, la *Triada Innovadora*, ha sido crucial en la formación del núcleo innovador en el Área de Catálisis en el IMP. En efecto, a principios de los setenta del siglo pasado los procesos de refinación en México estaban dominados por los catalizadores de las corporaciones multinacionales. En cambio, a principios de este siglo la presencia de catalizadores que surgieron de los programas de I y D del IMP, y utilizados productivamente en el Sistema Nacional de Refinación era notable. (Desde la incorporación del primer catalizador IMP en refinerías mexicanas [1976] hasta 2001, Pemex-Refinación ha procesado más de 36.1 millones de petróleo crudo. En ese mismo periodo Pemex ha comprado alrededor de 82 700 toneladas de catalizadores —FCC, hidrotratamiento, reformación de naftas, etc.—, diseñados en los programas de I y D del IMP y fabricados por corporaciones multinacionales. En el año 2000 el total de catalizadores de FCC utilizados por las plantas de Pemex-Refinación había sido diseñado por investigadores del IMP. En el mismo año los catalizadores de hidrotratamiento IMP alcanzaron el 88% de penetración; mientras los de reformación de naftas era el 33%.)⁶ Además, la actividad de I y D del IMP ha significado una transferencia de conocimiento e información tecnológica hacia el sector de la industria química, instituciones de investigación y formación de capital humano en las universidades nacionales.

El objetivo central de este libro es el estudio del origen y desarrollo de la *Triada Innovadora* así como de los límites que enfrenta actualmente. La problemática estructural de la *Triada Innovadora* hunde sus raíces en el hecho de que transitó entre dos periodos diferentes de industrialización del país. Primero, bajo el paradigma de la *industrialización sustitutiva de importaciones* (ISI) y apoyo gubernamental. Segundo, bajo la influencia de la economía globalizada que en

⁵ Los tipos de petróleos mexicanos, según su densidad, extraídos del Golfo de México por Pemex son tres: Maya, Istmo y Olmeca, cuya clasificación corresponde a pesado, ligero y superligero. La proporción del petróleo tipo Maya es creciente. En el año 2000 representaba el 36% del total y en la década de los ochenta era apenas una cuarta parte (www.pemex.com).

⁶ Consúltense el capítulo 4 de este libro.

mecanismos de los precios del mercado, porque el conocimiento acumulado y las capacidades tecnológicas no se rigen, ni son construidos, por la influencia de esas fuerzas (Schumpeter, 1992).

El análisis de la problemática que envuelve a la *Tríada Innovadora* abarca tres grandes temas. *Primero:* la estructura y dinamismo de los mercados mundiales de catalizadores donde se desenvuelve la actividad de I y D en catálisis del IMP y que es la base de la *Tríada Innovadora*. *Segundo:* la estructuración de la *Tríada Innovadora* y sus efectos en términos de construcción de capacidades tecnológicas, contribución a la productividad de Pemex-Refinación, ingresos derivado de la I y D, formación de capital humano, etc. *Tercero:* a partir de los resultados de la investigación sugerir criterios de política que contribuyan en la elaboración de estrategias competitivas de mediano y largo plazo.

INTRODUCCIÓN

El tema central de este libro es la actividad innovadora del Área de Catálisis del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).¹ Se analizan sus relaciones tecnológicas-comerciales con Pemex-Refinación y con sus *socios tecnológicos* internacionales (corporaciones multinacionales), durante las dos últimas décadas. Los ejes del análisis son, por una parte, los factores que determinan el proceso de innovación en catálisis en el IMP y, por la otra, las condiciones bajo las cuales éstos pueden modificarse para incrementar el grado de *apropiabilidad* de beneficios de la institución y para fortalecer las *capacidades tecnológicas*.

Así, el propósito de este análisis es explorar las *oportunidades* de mercado que el IMP tiene para relanzar, tanto sus actividades de I y D, como su política comercial a escala nacional e internacional. El IMP está inserto en una extensa red de relaciones con instituciones de I y D y corporaciones multinacionales que determinan el dinamismo de la frontera tecnológica en catálisis, por lo que este estudio presenta una serie de comparaciones internacionales.

Los instrumentos analíticos utilizados en este estudio conjugan tanto la experiencia científica y tecnológica de los responsables de I y D en catálisis del IMP (Programas de Investigación en Ingeniería Molecular, Tratamiento de Crudo Maya, Gerencia de Atención al Cliente en Catalizadores y la Competencia de Catálisis), como las recientes aportaciones para explicar los factores principales que inciden en los procesos de innovación de la teoría evolutiva.²

Dos interrogantes surgieron a lo largo de la investigación, particularmente en los capítulos 4 y 6 del libro, cuando se estudiaban las condiciones bajo las cuales el IMP había desarrollado sus capacidades tecnológicas en catalizadores y cuando éstos se introdujeron a Pemex-Refinación.³ También, surgieron otros interrogantes cuando

¹ El Área de Catálisis del IMP comprende desde las actividades de I y D en catálisis, hasta la comercialización de catalizadores y servicios a Pemex-Refinación.

² Freeman (1986, 1994, 1998), Dosi (1982), Pavitt (1984), Freeman y Soete (1996), entre otros. Consulte el capítulo 1.

³ Capítulo 4.

se discutieron las estrategias competitivas alternas que eventualmente puede desplegar el IMP en el futuro, para competir en los mercados internacionales.⁴ La primera pregunta es si una institución como el IMP (concebida en sus orígenes como “brazo tecnológico” de Pemex)⁵ puede ser analizada y, en último término, evaluada con criterios de empresa (cuota de mercado, rentabilidad, etc.).⁶ La segunda, relacionada con la anterior, es si el IMP puede competir en los mercados internacionales, con corporaciones multinacionales que tienen varias décadas de participación en esos mercados, con tecnologías que se encuentran en plena fase de madurez.⁷

Las respuestas de ambas interrogantes fueron amalgamadas para proceder al análisis y así tener una doble visión del IMP, tanto en términos de *negocio* como de *institución de I y D* en el Área de Catálisis. Esta perspectiva dual sobre el IMP encierra uno de los hallazgos principales de esta investigación. En efecto, el IMP es concebido como una institución en *transición*, cuyas actividades de I y D están siendo permeadas por el mundo de los negocios. Éste no es fenómeno exclusivo del IMP, puesto que la revisión de la bibliografía internacional sobre el tema muestra que el auge de las políticas neoliberales de los años noventa implicó la vinculación de este tipo de instituciones (cuyo objetivo anterior era generar adiciones al *stock* de conocimientos públicos) con la industria donde el propósito es la obtención de *beneficios económicos* derivados de la posesión del conocimientos tecnológico.⁸

Otros hallazgos significativos de este estudio muestran que el IMP ha desarrollado *capacidades tecnológicas* significativas, con base en un intenso proceso de *aprendizaje tecnológico*, en el Área de Catálisis. Una expresión de lo anterior es el alto grado de penetración alcanzado por los catalizadores IMP en Pemex-Refinación. Ello sugiere un acercamiento (*catching-up*) a la frontera tecnológica. Asimismo, dentro del grupo de catalizadores desarrollados, la institución se ha *especializado* en catalizadores asociados al tratamiento de crudos pesados y sus mezclas que se procesan en México (Maya, Istmo, Pánuco, etc.). La forma del funcionamiento del negocio de catálisis en el IMP signi-

⁴ Capítulo 7.

⁵ En el acta constitutiva del IMP (1965) se señala que la institución tiene como función ser *el brazo tecnológico* de la empresa paraestatal Pemex.

⁶ Por supuesto en el ámbito del *negocio* de catálisis.

⁷ Este tema se analiza en el capítulo 3.

⁸ Dasgupta y David (1994).

ficó el establecimiento de una red institucional entre el IMP, las corporaciones multinacionales y Pemex-Refinación, a la cual se le ha denominado en este estudio, la *Triada Innovadora*. Al analizar dos décadas de funcionamiento de esta *Triada Innovadora*, se observó una *asimetría* importante en la repartición de los beneficios generados por las innovaciones entre los participantes. Esta característica no favorece al IMP, en términos de su horizonte de negocio, lo cual nos condujo a explorar cuáles deberían ser los componentes de una *estrategia competitiva*, tanto a escala nacional como internacional, que permitan al IMP obtener una rentabilidad adecuada, según las condiciones del mercado.

El libro tiene ocho capítulos. El capítulo 1 tiene como objetivo explicar, a grandes rasgos, la evolución reciente del IMP como institución de I y D, bajo la influencia del nuevo paradigma competitivo. Asimismo, se trata de contextualizar el Área de Catálisis dentro de la institución y, finalmente, explicitar el ámbito donde se registran las innovaciones en materia de catalizadores. En el capítulo 2 se caracterizan las tendencias del mercado mundial de catalizadores. El capítulo 3 presenta un balance del comportamiento del mercado mundial de catalizadores, las estrategias de sus principales agentes y las perspectivas futuras.

Los capítulos 4, 5 y 6 se centran en el *modus operandi* del IMP, resultante de su vinculación con Pemex-Refinación y con sus *socios tecnológicos*⁹ (*Triada Innovadora*) y de sus efectos sobre las actividades de investigación y de comercialización. Ésta es la parte analítica más importante del libro y en particular el capítulo 4 trata sobre el cambio institucional en el Área de Catálisis. Es decir, sobre las etapas que han determinado el comportamiento comercial de la *Triada Innovadora*. El 5 estudia el modelo de regalías que ha establecido el IMP con sus socios tecnológicos. En otras palabras, es un análisis de los determinantes del nivel de ingresos que resultan para cada uno de los participantes del negocio de catalizadores en México. El capítulo 6 es un recuento y una valoración de las capacidades tecnológicas que el IMP ha edificado en más de dos décadas de desarrollo de programas y proyectos de I y D, así como de los acuerdos de cooperación con los socios tecnológicos y de su vinculación con Pemex-Refinación. También se establece una tipología para estudiar las rela-

⁹ Corporaciones multinacionales productoras de catalizadores.

ciones con los socios tecnológicos. Se distinguen los efectos que cada tipo de vínculo establecido con las corporaciones multinacionales tiene sobre las capacidades tecnológicas del Área de Catálisis en el Instituto Mexicano del Petróleo.

El capítulo 7 está dedicado a la construcción de las estrategias competitivas. Se realiza una revisión de los ingredientes fundamentales para construir una estrategia integral (I y D, ingeniería de producto, fabricación, comercialización y asistencia técnica) para incursionar en el mercado internacional. El análisis enfatiza las bases para establecer una estrategia competitiva internacional, la cual debe apoyarse en una política de alianzas tecnológicas y acuerdos de cooperación que contribuyan a un mejor posicionamiento del IMP en los mercados internacionales. Esta estrategia debe contribuir a asegurar e incrementar significativamente los grados de apropiabilidad de beneficios por concepto de sus creaciones tecnológicas. Finalmente, el capítulo 8 presenta una visión de conjunto de las conclusiones más importantes del estudio.

1. EVOLUCIÓN DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO Y EL ÁREA DE CATÁLISIS

INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene dos objetivos. El primero es presentar el contexto institucional en el cual se desarrolla la innovación en catálisis en el IMP. El segundo explica cuáles son los ámbitos de los catalizadores en donde se registran las innovaciones tecnológicas. Para alcanzar estos objetivos es necesario presentar las principales características organizacionales del IMP, particularmente aquellas relacionadas con el Área de Catálisis, la entidad de I y D y de asistencia técnica asociada al desarrollo de la industria petrolera nacional de refinación, petroquímica y procesamiento de gas. Además, explicar las definiciones básicas de la catálisis para poder ubicar las innovaciones que registra.

El capítulo está compuesto de cinco secciones. La primera presenta al IMP en el contexto del sector de energía así como su importancia como centro de investigación nacional. En la segunda sección se analiza la estructura del Área de Catálisis y su participación en las actividades de I y D. En la tercera sección se posiciona al Área de Catálisis dentro del IMP, en términos de los proyectos de I y D, el financiamiento de esa actividad y del capital humano. La cuarta sección presenta el ámbito en el que se registran las innovaciones y su impacto dentro de la industria de refinación. Finalmente, en la quinta sección, se presentan las conclusiones del capítulo.

1.1. EL IMP EN EL SECTOR DE ENERGÍA

El IMP es la institución nacional abocada a la I y D y servicios tecnológicos de Pemex. Es la organización de I y D más importante del país por su capital humano, capacidades tecnológicas, infraestructura y por las redes institucionales en el país y en el extranjero relacionadas con la innovación de la industria petrolera.

El IMP forma parte del conjunto de instituciones que conforman el

sector energía en México. Conjuntamente con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), estructuran el sector energía. Este complejo institucional tiene como objetivo aportar tecnologías, asistencia y servicios a los organismos paraestatales responsables de la producción, generación y comercialización de la energía primaria y secundaria del país. Ya que 85% de las fuentes de energía proviene del petróleo,¹ Pemex representa un negocio casi diez veces mayor que el de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).² Así, el IMP tiene un peso específico y estratégico muy importante en las actividades de Investigación y Desarrollo tecnológico del sector. En concordancia, los recursos financieros del IMP son sensiblemente mayores a las otras instituciones pares del sector, utilizando alrededor del 9% del gasto federal de Ciencia y Tecnología, mientras que el IIE ejerce 3% y el ININ el uno por ciento.³

1.2. LA EVOLUCIÓN INSTITUCIONAL DEL IMP Y EL ÁREA DE CATÁLISIS

En su fundación (1965) el IMP fue concebido como una institución capaz de disminuir la *dependencia tecnológica* y contribuir así al desarrollo de la industria petrolera nacional. El decreto de creación del IMP tiene un propósito múltiple:

- a) Realizar la investigación científica básica y aplicada;
- b) Desarrollo de disciplinas de investigación básica y aplicada;
- c) Formación de investigadores;
- d) Difusión de los desarrollos científicos y su aplicación en la tecnología de exploración, explotación, refinación y en la tecnología de la petroquímica;
- e) Capacitación del personal obrero para desempeñar labores en nivel subprofesional, dentro de las industrias petrolera, petroquímica básica, petroquímica derivada y química.⁴

¹ Pemex-Refinación, 2002.

² Escobar y Cassaigne (1995).

³ *Ibid.*

⁴ IMP, 1965.

A lo largo de casi cuatro décadas, el IMP ha pasado por diversas reestructuraciones de su organización y sus objetivos se han ido transformando en función de los determinantes internos y externos. Actualmente, en el contexto de la globalización y el nuevo paradigma competitivo, el IMP se ha transformado a partir de la década de los noventa alineándose a las tendencias recientes. El marco legal ha registrado cambios profundos. El más importante, en términos de los objetivos de este libro, es sin duda la capacidad que tiene el IMP, a partir de 2000, de comercializar sus tecnologías y productos en niveles nacional e internacional.⁵

Desde finales de la década pasada y durante la actual se han registrado reestructuraciones organizacionales del IMP. Éstas se han hecho patentes en la modificación al decreto de creación (octubre de 2000). A partir de entonces el IMP tiene cuatro plataformas:

- a] Atención a clientes,
- b] Soluciones,
- c] Investigación y
- d] Competencias.

Estas plataformas están controladas por once direcciones ejecutivas (cinco de soluciones, cinco corporativas y una de investigación y posgrado) y cuatro delegaciones regionales.⁶ Estas instancias están bajo el control de la Dirección General y su Consejo de Administración (IMP, 2001).⁷

Si centramos la atención en las actividades de I y D⁸ observamos que la plataforma de investigación abarca once programas de investigación: a] Yacimientos Naturalmente Fracturados, b] Tratamiento de Crudo Maya, c] Ingeniería Molecular, d] Biotecnología del

⁵ En el capítulo 4 se analiza con mayor profundidad la evolución organizacional del IMP.

⁶ Además existen dos coordinaciones de programas estratégicos: Aceite y Académico.

⁷ La reestructuración anterior del IMP fue en 1993 y estaba constituida por cuatro subdirecciones, que abarcan las siguientes actividades: investigación y desarrollo en exploración y producción; investigación y desarrollo tecnológico en transformación industrial; ingeniería de proyectos; capacitación y servicios técnicos (IMP, 1993).

⁸ La tercera plataforma señalada en párrafos anteriores. Cabe señalar que se hace referencia solamente a investigación, pero en el Área de Catálisis. En último término implica también las actividades de atención a clientes y soluciones.

Petróleo, *e*] Medio Ambiente y Seguridad, *f*] Ductos, *g*] Matemáticas Aplicadas y Computación, *h*] Gas, *i*] Yacimientos Arcillosos (Chicontepec), *j*] Exploración en Aguas Profundas, y *k*] Hidrógeno. Actualmente hay 490 personas trabajando en proyectos pertenecientes a estos programas.⁹

Área de Catálisis:

El *Área de Catálisis* es una parte importante del IMP. Se define como: *i*] el conjunto de proyectos de investigación sobre catalizadores y procesos asociados; *ii*] los servicios y productos relacionados con la catálisis (soluciones); y, finalmente *iii*] la competencia de catálisis que organiza y asigna investigadores del área y demás personal asociado a este ámbito de investigación.

El Área de Catálisis participa en tres programas de investigación y la Gerencia de Atención al Cliente en Catalizadores a los cuales están asignadas 165 personas. La distribución en programas de investigación es la siguiente:

- Tratamiento de Crudo Maya (99 personas),
- Ingeniería Molecular (37) y
- Biotecnología del Petróleo (1)

y 23 participan en la Gerencia de Atención a Clientes en Catalizadores. Por último, cinco personas participan en proyectos estratégicos como competencias, aseguramiento de la calidad y trabajo en equipo.

En el cuadro 1.2.1 se muestran las distribuciones del personal de acuerdo con su especialidad y grado académico. En este cuadro se observa una amplia dispersión entre la experiencia del capital humano del Área de Catálisis y su nivel académico. El 59% del capital humano cuenta con una experiencia menor a 15 años, y sobre todo, 29% del personal con doctorado tiene una experiencia menor a cinco años. Se observa asimismo, que la acumulación de experiencia es mayor en el personal con menor grado.

⁹ Información al día 31 de diciembre de 2003.

CUADRO 1.2.1

EXPERIENCIA DEL CAPITAL HUMANO DEL ÁREA DE CATÁLISIS POR GRADO ACADÉMICO

| <i>Experiencia en años →</i> <i>↓ Nivel académico</i> | 1-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 | >30 | Totales |
|--|-----|------|-------|-------|-------|-------|-----|---------|
| Técnico | 8 | 3 | 1 | 14 | 9 | 5 | 1 | 41 |
| Licenciado | 15 | 16 | 8 | 9 | 4 | 3 | 1 | 56 |
| Maestro en ciencias | 8 | 10 | 5 | 5 | 2 | 0 | 0 | 30 |
| Doctor | 11 | 2 | 10 | 10 | 3 | 1 | 1 | 38 |
| Total | 42 | 31 | 24 | 38 | 18 | 9 | 3 | 165 |

FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos del Sistema Integral de Información del IMP (SIIMP) 2003.

El capital humano esta constituido de la siguiente forma: 38 doctores, 30 maestros en ciencias, 56 profesionistas y 41 técnicos. Los perfiles de conocimiento se extienden a lo largo de la cadena de valor, desde la investigación básica a la aplicación en el campo industrial. Este conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes son la base de sustentación del negocio actual del Área de Catálisis del IMP.

1.3. POSICIONAMIENTO DEL ÁREA DE CATÁLISIS EN EL CONTEXTO DEL IMP

El posicionamiento del Área de Catálisis se precisa a través de la cuantificación de sus proyectos, costo de los proyectos, ingresos generados y capital humano, comparando con el promedio del IMP en el año 2000. También se hace un estudio comparativo sobre la producción científica y técnica del Área de Catálisis del IMP con respecto al ámbito nacional de la especialidad.

El Área de Catálisis del IMP, al igual que el resto de la institución, organiza sus actividades en forma “proyectizada”, de acuerdo con el tipo de proyectos, como los siguientes:

1. Facturables

2. Investigación
3. Investigación por FIES
4. Estratégicos

Los *Proyectos Facturables* del Área de Catálisis se basan en cuatro productos:

1. Venta de catalizadores
2. Asistencia técnica
3. Servicios integrales
4. Desarrollo tecnológico¹⁰

Los proyectos de investigación, comprenden a las actividades de investigación básica y aplicada sobre los diversos aspectos de la catálisis, que a partir de ahora denominaremos I y D. La denominación *Proyectos de apoyo a Investigación*, se refiere a las actividades que se llevan a cabo en los laboratorios de caracterización y evaluación. El rubro *Operación* incluye a las actividades relacionadas con la gestión, administración y desarrollo de programas de capacitación del capital humano.¹¹

Los cuadros 1.3.1, 1.3.2 y 1.3.3 muestran los costos e ingresos derivados de los cuatro tipos de proyectos realizados por el Área. Se observa que el porcentaje del costo de proyectos de I y D más la operación en el Área de Catálisis representa el 79.7% de los costos totales del área. En contraste, a nivel institucional el porcentaje del costo de la I y D más la operación del IMP es sólo 44.5%. Se concluye, por lo tanto, que la I y D más la operación en el Área de Catalizadores es alrededor de dos veces y media más elevada que el promedio institucional.

¹⁰ De acuerdo con el Plan de Negocios de la Gerencia de Soluciones en Catalizadores, 2001-2006.

¹¹ Incluye la gestión de la competencia en catálisis asociada a la capacitación y administración del capital humano.

CUADRO 1.3.1
DISTRIBUCIÓN POR TIPO DE PROYECTO DE COSTOS E INGRESOS EN EL ÁREA DE CATALISIS EN EL IMP, 2003

| <i>Tipo de proyectos</i> | <i>Proyectos</i> | <i>Costo^a</i> | <i>Ingreso^a</i> | <i>Remanente^a</i> | <i>Personas Totales^a</i> | <i>Costo promedio por proyecto^b</i> <i>(6) = (2) / (1)</i> |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--|
| | <i>(1)</i> | <i>(2)</i> | <i>(3)</i> | <i>(4) = (3) - (1)</i> | <i>(5)</i> | |
| Facturables | 26 | 18 135 863 | 35 696 878 | 17 561 015 | 19.6 | 697 533 |
| Investigación institucional | 41 | 84 258 605 | | -84 258 605 | 63.4 | 2 055 088 |
| Investigación por FIES | 10 | 7 694 044 | | -7 694 044 | 65.7 | 769 404 |
| Operación ^b | 36 | 16 967 713 | | -16 967 713 | 16.3 | 471 325 |
| Total | 113 | 127 056 224 | 35 696 878 | -91 359 347 | 165.0 | 1 124 391 |

^a Personas equivalentes.

^b Proyectos dedicados a dar servicio a los proyectos de investigación.

^c Incluye proyectos A, B, C, E, G, J, K, M, N, O, P, Q, R, S, T.

FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos del Sistema Integral de Información del IMP (SIIMP) 2003.

*Unidades en pesos mexicanos al 31 de diciembre de 2003.

CUADRO 1.3.2
DISTRIBUCIÓN POR TIPO DE PROYECTO DE COSTOS E INGRESOS EN EL IMP, 2003

| <i>Tipo de proyectos</i> | <i>Proyectos</i> | <i>Costo^a</i> | <i>Ingreso^a</i> | <i>Remanente^a</i> | <i>Personas Totales^a</i> | <i>Costo promedio por proyecto^b</i> <i>(6) = (2) / (1)</i> |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--|
| | <i>(1)</i> | <i>(2)</i> | <i>(3)</i> | <i>(4) = (3) - (1)</i> | <i>(5)</i> | |
| Facturables | 1 529 | 2 389 296 751 | 4 083 896 396 | 1 694 599 645 | 3 611.2 | 1 562 653 |
| Investigación institucional | 170 | 545 771 700 | 60 022 689 | -485 749 011 | 490.2 | 3 210 422 |
| Investigación por FIES | 90 | 107 286 061 | 5 354 493 | -101 931 569 | 304.6 | 1 192 067 |
| Operación ^b | 1 779 | 1 454 278 423 | 122 854 673 | -1 331 423 750 | 1 782.1 | 2 688 130 |
| Total | 2 330 | 4 496 632 935 | 4 272 128 250 | -224 504 685 | 6 188.0 | 1 929 885 |

^a Personas equivalentes.

^b Proyectos dedicados a dar servicio a los proyectos de investigación.

^c Incluye proyectos A, B, C, E, G, J, K, M, N, O, P, Q, R, S, T.

FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos del Sistema Integral de Información del IMP (SIIMP) 2003.

*Unidades en pesos mexicanos al 31 de diciembre de 2003.

CUADRO 1.3.3
COMPARACIÓN POR TIPO DE PROYECTOS ENTRE EL ÁREA DE CATALISIS Y EL IMP, 2003

| <i>Relación comparativa Catalisis / IMP</i> | <i>Proyectos</i> | <i>Costo</i> | <i>Ingreso</i> | <i>Remanente</i> | <i>Personas totales^a</i> | <i>Costo promedio por proyecto</i> |
|---|------------------|--------------|----------------|------------------|-------------------------------------|--|
| Facturables | 1.7% | 0.8% | 0.9% | 1.0% | 0.5% | 44.6% |
| Investigación institucional | 24.1% | 15.4% | 0.0% | 17.3% | 12.9% | 64.0% |
| Investigación por BES | 11.1% | 7.2% | 0.0% | 7.5% | 21.6% | 64.5% |
| Operación ^b | 6.7% | 1.2% | 0.0% | 1.3% | 0.9% | 17.5% |
| Total | 4.8% | 2.8% | 0.8% | 40.7% | 2.7% | 58.3% |

Método de cálculo: relación entre los valores de las columnas del cuadro 1.3.1 y los valores respectivos del cuadro 1.3.2.

^a Personas equivalentes.

^b Proyectos dedicados a dar servicio a los proyectos de investigación.

^c Incluye proyectos A, B, C, E, G, J, K, M, N, O, P, Q, R, S, T.

FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos del Sistema Integral de Información del IMP (SIIMP) 2003.

En el Área de Catálisis, cuya actividad gira en torno a la I y D, se observa que su contribución en ingresos, resultado de los proyectos facturables (F), es de 1.7% del total del IMP. En contraste, el gasto total del Área de Catálisis, como porcentaje del gasto total del IMP, es de 2.8%. Es decir que su gasto es tres y media veces el ingreso que produce ella misma. Esto significa que el Área de Catálisis es deficitaria en ingresos para financiar sus actividades de I y D, por lo que estas últimas actividades deben financiarse mediante los remanentes transferidos de otras áreas del IMP. En el capítulo 4, al analizar la organización de la I y D y los ingresos que genera su actividad innovadora, se amplía la comparación entre el Área de Catalizadores y con respecto al IMP.

Sin embargo, es importante hacer notar que el desempeño de una institución como el IMP no puede ser medido exclusivamente en términos de ingresos generados. La bibliografía internacional sugiere que también deben considerarse las contribuciones al conocimiento puro y aplicado y éste será un tema central del estudio (Pavitt, 1999 y Freeman y Soete, 1999).

El Área de Catálisis del IMP tiene una importancia significativa dentro del esquema innovativo del IMP. En términos de inversión para I y D, representa el 24% del total invertido en I y D en el IMP; además, tiene un porcentaje de personal doctorado de 23%, mientras que el número de investigadores en el sistema (SNI) equivale a 18% del total de investigadores SNI del IMP, o sea 32 investigadores de un total de 197.¹²

Con respecto a la contribución del Área de Catálisis del IMP al conocimiento de la especialidad en México, se hizo un estudio basado en los trabajos de I y D difundidos en el Simposio Iberoamericano de Catálisis (1996-2002) y en el Congreso Norteamericano de la Sociedad de Catálisis (NACS 1997-2001). Se encontró que el 38% del total nacional presentado en esos eventos se genera en el IMP. Esta comparación incluye a todas las universidades y centros de I y D que trabajan en temas afines a la Catálisis. También, el Área de Catálisis ha generado el 18% del total de las patentes del IMP, es decir 124 patentes de un total de 694 concedidas (114 patentes en trámite no se contabilizan). Además, como se verá en los capítulos siguientes, el Área de Catálisis del IMP juega un papel importante con Pemex-

¹² Actualizado al 31 de diciembre de 2003.

Refinación, tanto en términos estratégicos como económicos. Asimismo, las actividades en el área han motivado el desarrollo de otras áreas de negocio, tanto adentro como afuera del IMP, alimentando nuevas líneas de I y D.

1.4. INNOVACIÓN EN LOS CATALIZADORES

Existe una abundante bibliografía especializada y de divulgación que muestra el papel crucial que las innovaciones en los procesos catalíticos han tenido en la industria química en el último siglo.¹³ Ostwald, Premio Nobel de química¹⁴ en 1909, definió a un catalizador como una sustancia que modifica la velocidad de una reacción, proceso catalítico, sin aparecer ella misma en el producto final.

A continuación se explican los catalizadores desde la perspectiva de la innovación tecnológica. Es decir, cuáles son los ámbitos del catalizador proclives a las innovaciones incrementales o radicales. De acuerdo con la bibliografía especializada existen indicadores que reflejan el impacto de las innovaciones.

- *Actividad*: la capacidad de transformar una fracción del petróleo

$$\text{Conversión} = \frac{\text{Vol. inicial} - \text{Vol. final}}{\text{Vol. inicial}} \times 100$$

Donde: *Vol. inicial* es el volumen inicial de la fracción de petróleo crudo a procesar

¹³ Véase B. Luberoff, Chem Tech. p. 8 (1981) y "History of Catalysis" <http://crtc.caer.uky.edu/history.htm>, así mismo Bennett, *et al.* (1988) señala que de los 63 principales productos y las 34 más importantes innovaciones en procesos ocurridas en el periodo de 1930-1980, en las industrias de energía y química, más del 60% de los productos y 90% de los procesos estuvieron basados en catalizadores. Véase también USA National Petroleum Council (1995). Además, el dominio de los procesos catalíticos se basa en la integración de la experiencia técnica y las capacidades experimentales. La catálisis industrial es el resultado de la vinculación y sinergia entre varias disciplinas y subdisciplinas, como son la ingeniería química, química inorgánica, química de coordinación, química analítica, ciencia de materiales, fisicoquímica de superficies, ingeniería de proteínas, física del estado sólido, cinética, termodinámica, dinámica molecular, química cuántica, espectroscopías, simulación y diseño de procesos, etc., todas ellas son esenciales para el entendimiento y desarrollo de la catálisis.

¹⁴ Bruce E. Leach (editor), *Applied Industrial Catalysis*, vol. I, Academic Press (1983).

Vol. final es el volumen de la fracción de petróleo crudo sin convertir

- *Selectividad*: es la capacidad de obtener productos de alto valor (gasolina, diesel, olefinas, etc.) a partir de la transformación de las fracciones del petróleo.

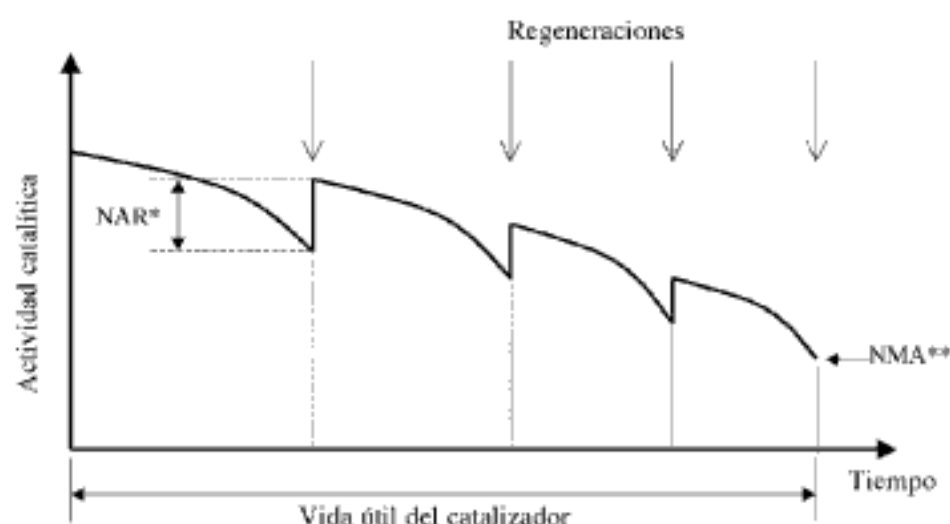
$$\text{Selectividad a gasolina} = \frac{\text{Vol. gasolina producida}}{\text{Vol. inicial} - \text{Vol. final}} \times 100$$

- *Rendimiento*: es indicador derivado de la *conversión* y la *selectividad*. Determina la relación entre la cantidad de producto de alto valor resultante y el volumen de la fracción de petróleo procesado

$$\text{Rendimiento a gasolina} = \frac{\text{Vol. gasolina producida}}{\text{Vol. inicial}} \times 100$$

Estabilidad: está asociada al tiempo de vida del catalizador en el reactor y a la capacidad del catalizador para ser regenerado, véase figura 1.4.1.

DIAGRAMA 1.4.1
VIDA ÚTIL DEL CATALIZADOR



* NAR: Nivel de actividad recuperado por regeneración.

** NMA: Nivel mínimo permitido de actividad del catalizador.

Cualquier aumento en los parámetros anteriores expresa el resultado de una innovación incremental o radical. Siguiendo a Schumpeter (1947), las innovaciones incrementales son aquellas que refieren una contribución marginal, mientras que la innovación radical expresa un cambio en los procesos de transformación, lo cual impacta de manera sustantiva los valores de los cuatro coeficientes donde se mide la transformación, del petróleo crudo a través de los procesos catalíticos.¹⁵ Es importante señalar que las innovaciones, sean éstas incrementales o radicales, se expresan en la reducción del consumo energético al lograr que las reacciones se lleven a cabo en condiciones más favorables, minimizando los costos de operación y/o permitiendo el procesamiento de cargas más pesadas.

Los catalizadores se utilizan en cinco grandes segmentos del sector industrial: refinación del petróleo, petroquímica, química fina y de especialidad, polimerización y ambiental. El IMP se ha consagrado a catalizadores orientados a la refinación del petróleo, aunque en la década de los ochenta hubo unas aportaciones de catalizadores para petroquímica.

Este estudio se centra en las innovaciones de los catalizadores de la refinación del petróleo para producir gasolina, gasóleos ligeros y pesados, residuales.

Según el *Handbook of Petroleum Refining Processes*, Robert A. 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)
2. Hidrotratamiento
3. Hidrodesintegración
4. Reformación de naftas
5. Alquilación
6. Isomerización
7. Tratamiento de efluentes (recuperación de azufre, endulzamiento, etcétera)

¹⁵ Un ejemplo de innovación radical es el proceso *cdTech* para el procesamiento de gasolina catalítica, que integra las etapas de reacción y separación en un mismo sistema catalítico. Consúltese G. L. Rempel (1999).

8. Procesos de especialidad (eterificación, obtención de hidrógeno, destilación reactiva, etcétera)¹⁶

A excepción del proceso de alquilación, todos los procesos de refinación consumen catalizadores sólidos porosos. A estos catalizadores se les llama catalizadores heterogéneos.¹⁷ Se puede decir, de una manera general, que los procesos catalíticos de refinación ponen en contacto a los reactivos (fracciones del petróleo) con el catalizador (sólido poroso),¹⁸ dentro de un reactor que se encuentra bajo ciertas condiciones de operación (temperatura y presión) que permiten la transformación de los reactivos en productos, con una orientación hacia los productos de mayor valor comercial o de valor estratégico para las operaciones de la refinería. Los catalizadores industriales generalmente se presentan en forma de pastillas esféricas o cilíndricas, cuyo tamaño puede variar dependiendo del proceso, desde unas cuantas micras hasta varios milímetros de longitud y anchura. Normalmente, para llenar un reactor se utilizan decenas o cientos de toneladas cada vez y también existen procesos en la refinería que demandan una tasa de reposición que alcanza varias toneladas por día (p. ej. FCC, hidrodesintegración de residuales).

CONCLUSIONES

El IMP es la institución más importante de I y D del Sector Energía en México dado su vínculo institucional con Pemex.

El Área de Catálisis del IMP es parte sustantiva de los programas de investigación del IMP. Sin duda, es un *core competence* del IMP en I y D centrado en catalizadores para la refinación de petróleo de Pemex.

El cambio institucional reciente (2002) abre nuevas ventanas de oportunidad al IMP. El centro de gravitación de sus actividades se desplaza hacia el mercado adquiriendo una doble perspectiva: la de ins-

¹⁶ Una explicación extensa de los tres más importantes (FCC, Hidrotratamiento y Reformación catalítica de naftas) se presenta en el anexo 1.

¹⁷ Ya que se encuentran en una fase diferente a la de reactivos y productos, que es líquida o gaseosa.

¹⁸ Los catalizadores heterogéneos se presentan en forma de polvos, pastillas o materiales con una forma específica llamados extrudados.

titución gubernamental de I y D y a la vez de negocio competitivo como fuente de ingresos para financiar sus actividades de I y D. Este doble carácter lo acerca a los cambios que han registrado las instituciones gubernamentales de I y D en los países industrializados. Este nuevo contexto es la perspectiva desde la cual se realiza, en los siguientes capítulos, el estudio de la actividad innovadora del IMP en el Área de Catálisis. Es decir, por una parte, se estudia retrospectivamente la vía a través de la cual el IMP construyó sus capacidades tecnológicas y estableció un estrecho vínculo con Pemex-Refinación; mientras que, por la otra, se analiza el entorno global en el cual el IMP desplegará sus nuevas estrategias tecnológicas de negocio tanto nacional como internacionalmente.