

00821
175

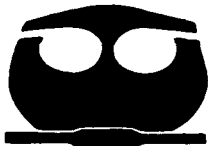


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

CASOS DE AVANCES TECNOLOGICOS EN
LA INDUSTRIA PETROLERA

TRABAJO MONOGRAFICO DE
ACTUALIZACION
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
PRESENTA:
WENDY ALEJANDRA XIQUI BEVIDE



MEXICO D.F.



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO

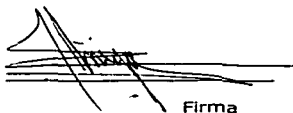
Presidente	Ing.	Eduardo Rojo y de Regil
Vocal	Ing.	José Antonio Ortiz Ramírez
Secretario	Ing.	Alejandro Iñiguez Hernández
1er. suplente	Ing.	Héctor Marcellino Gómez Velasco
2do. suplente	Ing.	José Sabino Samano Castillo

Lugar donde se desarrollo este trabajo:

Facultad de Química, UNAM, Edificio A.

Asesor del tema:

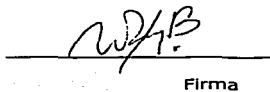
Ing. Alejandro Iñiguez Hernández



Firma

Sustentante:

Wendy Alejandra Xiqui Bevide



Firma



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido llegar a este momento de mi vida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México. El ser universitario no sólo está en el título, también está en el corazón.

A la Facultad de Química y a todos mis profesores, por que sin duda han sido los mejores guías, quienes además, me dieron el valioso ejemplo de servir a la Universidad y sobre todo a México.

Al Ingeniero Alejandro Iñiguez Hernández, de quien siento un profundo respeto y admiración pues es digno ejemplo a seguir. Por haberme permitido trabajar con usted, por sus consejos, su paciencia y por siempre tratar de entender a los jóvenes, sobre todo por su apoyo para lograr concluir este etapa tan importante en mi vida.

Al Ingeniero José Antonio Ortiz Ramírez por brindarme sus conocimientos. Por enseñarnos que con humildad y tenacidad, podemos llegar hasta donde nosotros mismos nos proponíamos. Por su ayuda y por la confianza que ha depositado en mí.

Al Ingeniero Eduardo Rojo y de Regil, por el interés, apoyo y orientación que me brindó para la realización de este trabajo. Por compartir su amplia experiencia en el campo de la Ingeniería Química, que sin duda es un gran ejemplo de éxito. Siempre recordaré la Obertura musical "Gaudeamus Igitur".

Al Dr. Eduardo Bárzana García por haberme permitido trabajar en su laboratorio, por haber depositado su confianza en mí, por sus consejos y por todo el apoyo que me ha brindado. Por ser un excelente ejemplo a seguir y por enseñarme el maravilloso mundo de la Biotecnología.

Al Ingeniero Jorge Núñez Alba, por los consejos que me ha brindado durante mi carrera. Por haber creído en mí para desempeñar la labor de consultor en Invertec-IGT, en donde sin duda aprendí el significado de demostrar lo que es ser un Ingeniero Químico de la UNAM en la vida real.

Al Dr. Pedro Roquero Tejeda. Al Doc. ¡Gracias! De verdad nunca voy a terminar de agradecer todo el apoyo y ayuda, en lo que al servicio social respecta. A Pedro, por ser un excelente amigo, por escucharme y orientarme. Por siempre estar ahí cuando he necesitado ayuda.

Al Ingeniero Ramiro Domínguez Danache y a mi maestra Bertha Lilla Ameneiro Flores; no tengo palabras para agradecer el inmenso cariño que me han brindado. ¡Gracias por quererme tanto!

Al Dr. Alfredo Chávez Haro y al Dr. Alejandro Alagón Cano por haberme enseñado el fantástico mundo de los alacranes. Por que al trabajar con ustedes aprendí que en la vida se deben realizar las cosas poniéndole verdadera pasión y empeño para así encontrar el verdadero camino para llegar al éxito. Siempre les voy a tener una profunda admiración.

A la Ingeniera Irene Astudillo, por haberme permitido trabajar contigo en Invertec-IGT, por haber creído en mí y por haberme enseñado una buena metodología de estudiar los casos de avances tecnológicos, ya que sin duda, todo lo que aprendí en esos cinco meses me fue de gran utilidad para la realización de ésta memoria.

Al Lic. Rodolfo Arvide, gracias por compartir la grandiosa biblioteca con la que cuentas, por tu ayuda en la recopilación de información. Sin tu apoyo no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

Especialmente a mi tío Francisco García Currielche, por enseñarme el amor por la química y por el conocimiento. Por ser un ejemplo de fuerza, constancia y tenacidad. Por ser un pilar importante en mi carrera, por compartir tus sabios consejos, por guiarme y por estar ahí, por quererme.

A la Fundación Telmex por la beca otorgada para realizar mi carrera.



DEDICATORIAS

A mis padres por darme la vida.

Papá, gracias por ser el mejor guía, nunca dejaré de ser tu discípula. Por el amor que nos tienes. Por el apoyo que me has brindado, por darme la oportunidad de ser alguien en la vida. Todo esto es por ti. Por ser mi cómplice en todo lo que emprendo. Por ser Yogui y nunca dejar de ser el mejor amigo de Bubu.

Mamá, gracias por ser la mejor mamá del mundo, por siempre dar todo por nosotros, por el amor que nos tienes, por ser mi amiga y darme los mejores consejos. Por enseñarme el valor de la vida e inculcarme los mejores valores. Por que lo que soy, es gracias a ti.

A mis hermanos, Lalo y Yazmín, por siempre estar junto de mí, por que son mi mejor regalo. Por crecer junto conmigo compartiendo, travesuras, momentos de alegría y de tristeza. Por darme la fortaleza para seguir adelante. Son lo más maravilloso que me pudo ocurrir.

A mi mamá Carmela, por ser los ojos del cielo que iluminan mi existencia.

A mis abuelitos, Rafael, Emigdio, Elvira y Finucho, se que en donde quiera que estén se encuentran orgullosos de mí.

A abuelita Reyna, por querernos y siempre recibirnos en tu casa con un exquisito manjar. A Chole, por estar junto a mí en buena parte de mi vida. A mi abuelita Rosita, por dejarme ser tu nieta.

A mis padrinos Omar y Malena, los amo por ser como unos padres para mí. Gracias por quererme y apoyarme siempre. A Sandra, Oscar, Omar, Gloria, Ulises, Nora, y a los pequeñitos, por ser una familia entrañable.

A mis tíos; Carmelita por ser mi amiga incondicional, te quiero mucho; Paco Mercado por querernos y por enseñarnos la parte divertida de la vida; Tía Ceci y Tío Bernardo por su cariño y apoyo; Tía Paty Mendoza por estar en cada triunfo de mi vida; tía Ella, por tu cariño.

A mis padrinos; Carlos y Maricruz, por tenerme en un lugar especial de su corazón; Mago y Juan Manuel por entender y apoyar mis ideales; Carlos y Marilú, por escucharme y apoyarme siempre, por el tanque de O₂.

A Lalo, Paty, Edy, y Marco, por su apoyo y por siempre estar junto de mí en cada momento.

Arellys Dravis, gracias por ser mi dentista (la mejor), por ser mi compañera de viaje no sólo por Europa, sino también por la vida. Siempre seguirá siendo "Yo como Arelly"

A mis primos, Hiram por que gracias a ti me encanta el fútbol, por dejarme acercar a ti; Daniela (Zoe), por parecerse a mí y por ser única. Los dos saben que siempre estaré junto a ustedes; A Bernardo y Efraín, los quiero mucho, de verdad quisiera estar más cerca de ustedes.

A Ismael Zárate por ser uno más de la familia, te quiero mucho.

A Mariquita sin y al C. Marido, por el cariño que me han brindado; A Irma María se fue, por quererme como sólo tu sabes hacerlo.

A Emily, por ser como una hermana para mí, por compartir y crecer juntas, por dejarme conocer la verdadera amistad, por ser mi cómplice en cada paso que doy. T.Q.M. C.P.M.

A Elisa, por que sin ti la carrera no hubiera sido igual y yo no hubiera llegado hasta aquí. Por estar conmigo siempre, por no dejarme caer en los momentos más duros, por ser mi conciencia, por ser incondicional. ¡¡POLLITO!! TQM.

A Rafa, por estar ahí siempre, por compartir momentos especiales conmigo, por ser un ejemplo de esfuerzo y ganas de triunfar.

A José Manuel, por ser mi mejor amigo y estar en cada instante.

A Aines por tus locuras y por compartir muchos sueños e ideales juntas. TQM

A Checo, por ser el que aliviana cada momento difícil de mi vida, por hacerme sonreír y por enseñarme que la vida es simplemente para ser feliz.

11



A Añaíta por ser ejemplo de lucha constante, a Pily por tu nobleza, a Janina por las sesiones de belleza, a Ethel por ser auténtica, a la Ethna por ser tan neta, a Itzel por tu manera de ver la vida, a Adriana Meré por los momentos, a Andrés por su cariño, a Toña por ser tan espiritual, al Vic por tu fortaleza, a Yara por compartir, a Pablo por escucharme, a Santiago R.V. por ser mi amigo, a Gaby M., a Ale chiquita, a Jessica y Yair, a Isela por el tiempo que estuvimos juntas, a Hiram por tu consejo de saber en que momento ponerle fin, a Poncho por ser tan original, a Juan por ser tu, a Pablo L. por hacerme reír, a Vane por los momentos juntos, a Lalo y Bere Villegas la tía solterona los extraña, a Benja, Mauricio y Lili por reírse de mis anécdotas.

A Arturo por estar junto a mí, por escucharme; a Jaime por todas las cosas que pasamos juntos.

A Mauricio P. por aparecer en mi vida y por ser tan especial.

A Ray por ser tan genuino.

A Liliana Vega por crecer conmigo, por ser mi mejor amiga de chiquita, por darle un sabor especial a mis triunfos. A Betty por ser mi hermanita menor y a Juan Carlos por ser como eres.

A Roxana, por escuchar mis aventuras, por que me enseñaste que a pesar de que no es fácil y el ser humano es muy susceptible a ciertas circunstancias, sólo basta con ver lo que está a nuestro alrededor y jugar a vivir.

A Edith Cabrera por ser más que una jefa, por ser mi amiga. A Paola F. por tu apoyo en la consultoría. A Olguita por tu cariño.

A Tavo Román por dejarme conocer a los "como tu".

A Mario Ulloa por recordarme siempre que estoy aquí, a Abraham por enseñarme contabilidad y por tu amistad, a Gabriel sólo por ser mi cuate; a los tres por apoyarme siempre.

A mis hermanitos los médicos por que ya son parte de mi familia, cuando no están aquí los extraño.

A mis amiguitos de primer semestre.

A mis compañeros de la facultad con quienes estoy segura tengo recuerdos de momentos especiales.



INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1	4
BREVES ANTECEDENTES HISTÓRICOS.	4
1.1 El México Antiguo	4
1.2 La época colonial	6
1.3 El siglo XIX	8
1.4 El siglo XX	10
CAPÍTULO 2	18
Ciencia y Tecnología.	18
2.1 Ciencia	19
2.2 Tecnología	19
2.3 Técnica	20
2.4 Ingeniería.	21
2.5 Desarrollo tecnológico	22
2.6 Tecnología, Ingeniería e Industria	22
CAPÍTULO 3	23
CASOS DE AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA.	23
3.1 Proceso DEMEX	23
3.2 Plantas criogénicas	25
3.3 En el área de catálisis	30
3.4 Biotecnología del Petróleo	38
3.5 Ductos para transportamiento de petróleo. El problema de la corrosión en la industria petrolera.	44
3.6 Tecnología para destapar pozos petroleros.	49
3.7 Simuladores de plantas reformadoras de naftas con regeneración continua de catalizador.	52
CAPÍTULO 4	56
OTROS DESARROLLOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA	56
4.1 Importantes modificaciones para mejorar la operación, diversificar la producción y para procesar otras materias primas.	56
4.2 Patentes concedidas por los diferentes países. Comercialización de los procesos.	57
4.3 Avances Tecnológicos en PEMEX (equipamiento de un laboratorio de investigación en emisiones vehiculares y ensayo de motores)	59
4.4 Desarrollo de combustibles alternos	60
4.5 Venta de tecnología en el área de petróleo.	61
4.6 Tratamiento de crudo Maya.	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	70



INTRODUCCIÓN

La finalidad de realizar este trabajo consiste en hacer un pequeño análisis de la industria petrolera en México; se pretende hacer una revisión de casos de avances tecnológicos en los cuales haya sido importante la participación del ingeniero químico en esta industria.

Con el fin de conocer y mostrar una parte de historia de la química en México, se hace un pequeño recorrido desde los primeros vestigios de la presencia humana en el territorio que hoy es México, hasta la creación de las escuelas y facultades que imparten la carrera de Ingeniería Química.

Se hace un recuento breve de los logros y avances que se tuvieron en las diferentes industrias, como en los procesos metalúrgicos, en la fabricación de diferentes productos (papel, tintes, cerámicas, pigmentos, etc.).

En este trabajo se busca destacar la importancia de la industria petrolera como impulso definitivo para el crecimiento de la industria química en México.

En este breve repaso por la historia, se busca acentuar el conjunto de actividades que ha desarrollado el Ingeniero Químico mexicano dentro de su ejercicio profesional, incluyendo la creación del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (asociación encargada de agrupar a los profesionales de la ingeniería química, para lograr el desarrollo tecnológico de dicha área).

En los últimos años se ha desenvuelto una distinción radical entre ciencia y tecnología. Los significados de los términos ciencia y tecnología han variado significativamente de una generación a otra. En este capítulo se busca mostrar tanto las diferencias como las similitudes entre un concepto y otro.

La ciencia, al menos en teoría, se refiere más al desarrollo de leyes generales; pero la tecnología y la ciencia práctica se relacionan entre si; esta relación se puede observar en el desarrollo histórico del país en diferentes sectores.



Para que exista cualquier avance significativo en las industrias se debe encontrar el punto en donde la ciencia y la tecnología se fusionan para dar lugar a un desarrollo.

Se busca, además resaltar el vínculo entre tecnología e ingeniería, ya que el ingeniero es el encargado de materializar la creación de nuevos productos, materiales, procesos, sistemas y servicios.

La industria petrolera se ha caracterizado a través del tiempo por su gran dinámica, al promover la interacción de un gran número de ramas y actividades económicas, es por eso que cabe destacar los esfuerzos que esta industria ha implementado para tener un desarrollo creativo, pragmático y competitivo, de tal manera que el sector pueda enfrentar con éxito el reto de la competencia internacional.

Al hacer este estudio, se busca demostrar que México ha progresado de manera satisfactoria en éste sector; los beneficios, las aplicaciones que se han obtenido después de realizar las investigaciones correspondientes, y los logros que se han tenido en México sustituyendo procesos o tecnologías que se encontraban obsoletas, modificando algunos procesos o adaptándolos a las condiciones del petróleo de nuestro país para llegar a obtener mejores resultados en la industria petrolera. Se busca, que esto permita afirmar que hay buenas posibilidades de generar nuestra propia ingeniería básica, al menos para plantas de tecnología sencilla.



CAPÍTULO 1

BREVES ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

1.1 El México Antiguo

Los primeros vestigios de la presencia humana en el territorio que hoy es México datan de hace unos 30 mil años. El medio de subsistencia de estos grupos nómadas era la caza y la recolección de frutas silvestres. Siete milenios antes de nuestra era se inicia la agricultura con el cultivo de maíz y del frijol en la zona del actual estado de Puebla. La agricultura fue determinante en la formación de una cultura urbana. Mesoamérica surge como una vasta región caracterizada por diversas culturas que han creado centros urbanos que basan su economía en la agricultura y que poseen una sociedad cada vez más jerarquizada.

Hacia mediados del segundo milenio antes de Cristo se perfila ya claramente la primera de esas grandes culturas, la olmeca, que se asentaba en la costa del Golfo de México y en la del Océano Pacífico en la región que hoy es el estado de Guerrero. Su avance tecnológico se pone de manifiesto por su pericia en el tallado de piedra. La arqueología contemporánea está acorde en considerar a la cultura olmeca como el origen de las subsecuentes culturas desarrolladas por otros grupos tales como los mayas, toltecas, zapotecas o totonacas.

Durante tres milenios Mesoamérica vio aparecer, florecer y extinguirse a diversas culturas algunas de las cuales lograron un alto grado de desarrollo científico y tecnológico. En los periodos conocidos como preclásico, protoclásico, clásico y posclásico surgieron los mayas en la zona sureste, los totonacas en el Golfo de México, los zapotecos y mixtecos en el Pacífico, los tarascos en la región de Michoacán y Jalisco y los nahuas en el altiplano central. Los aztecas –uno de los grupos nahuas- se encontraban en plena expansión política y cultural en el momento de la conquista española.



La mayoría de dichas culturas desarrollaron una sofisticada tecnología agrícola. Hacia el año 400 de nuestra era los teotihuacanos ya habían logrado obtener altos rendimientos de sus cultivos sobre todo de maíz y frijol, y en la cría de animales como el guajolote. En 1521 el sistema agrícola a base de "chinampas" había sido llevado a un alto grado de perfección. En regiones como Xochimilco y Tiáhuac, éste era el sistema habitual de cultivo y sus rendimientos eran muy elevados. Además, el sistema de chinampas permitía la diversidad en los cultivos. Estas ventajas se lograban gracias al constante suministro de agua que las chinampas –especie de parcelas semiflotantes– tenían en esas regiones lacustres.¹

Ciencias Químicas

En el campo de las técnicas químicas, los aztecas lograron avances en el proceso metalúrgico del oro y la plata. Lograron aislar el cloruro de sodio, el carbonato y el bicarbonato de sodio. Lograron beneficiarse de la sacarosa contenida en los tejidos de las plantas de maíz y en el maguey, y obtuvieron colorantes de la grana cochinilla y del palo de Campeche. Además, fueron hábiles en la preparación de pegamentos y en la fabricación de cierto tipo de papel.²

Destacaron además en el aprovechamiento de las sustancias minerales, vegetales y animales para obtener tintes y pigmentos, que utilizaban para pintar casas, pirámides y códices, y colorear sus telas, cerámicas y cuerpos.

En el campo de la química alimentaria lograron utilizar la fermentación y la extracción para obtener bebidas y nutrimentos tales como el chocolate y el pulque.³

¹ Trabulse Eilas, LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MÉXICO, Historia Temática, México, 1990; pp. 7,8.

² Trabulse Eilas, LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MÉXICO, Historia Temática, México, 1990; pp. 9.

³ Valiente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996. p. 16



Figura 1. Los antiguos mexicanos utilizaban técnicas ingenieriles para confeccionar sus pigmentos, tintes y pinturas.

Fuente: Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996⁴

1.2 La época colonial

El descubrimiento de América abrió un amplio campo de investigación a los hombres de ciencia del viejo mundo que veían cuestionadas hasta sus cimientos las tradicionales y venerables teorías científicas aceptadas por la antigüedad y el medioevo. Los fenómenos físicos que resultaban novedosos se presentaron en gran cantidad y con evidente singularidad a la observación de los europeos llegados a estas tierras.

Pocos decenios después de que Colón tocara tierras indianas, ya había sido puesta en marcha la revolución científica que lograría su más acabada expresión durante el siglo XVII, época en la que adoptan su forma definitiva los paradigmas de la ciencia moderna erigidos sobre las ruinas del cosmos medieval.

Es lógico pensar que la Nueva España no podía quedar al margen de esta eclósion del pensamiento científico y de su concomitante revolución

⁴ Vallente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO. Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



tecnológica. Desde los inicios de la dominación española este país recibió las innovaciones técnicas europeas y fue veta pródiga de la observación científica, la cual, aunque en germen, ya planteaba problemas relevantes acerca de la naturaleza de las nuevas tierras que aún en nuestros días son sujetas a la investigación. De esos años tempranos de la colonia podemos hacer partir la tradición científica mexicana que sin solución de continuidad ha llegado hasta nosotros.⁵

Ciencias Químicas

Apenas habían transcurrido unos cuantos años de la caída de Tenochtitlán cuando comenzaron a explotarse los yacimientos metalíferos que los españoles habían descubierto por sí mismos o a través de los informes que les proporcionaron los sojuzgados indígenas. En un principio se emplearon los métodos de explotación utilizados por los indios, los cuales habían llegado a un grado avanzado de tecnología.

Las operaciones se basaban en la solubilidad de la plata en el plomo fundido y en la progresiva eliminación de éste último metal por oxidación al entrar en contacto con el aire. Toda esta labor se llevaba a cabo en pequeños hornos perforados y calentados con leña o con carbón vegetal.

Posteriormente fue adoptado el viejo método de molienda y fundición cuyos rendimientos no eran altos y que requería, además, de volúmenes considerables de combustible.⁶

Durante este periodo se introdujeron en el país el cultivo de la caña de azúcar y los primeros ingenios para procesar el dulce, siendo Hernán Cortés el primero que estableció un ingenio de azúcar en la Nueva España.

⁵ Trabulse Elías, **LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MÉXICO**, Historia Temática, México, 1990; pp. 10, 11.

⁶ Trabulse Elías, **LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MÉXICO**, Historia Temática, México, 1990; pp. 14, 15.



Con la llegada al país del ganado vacuno y ovino se pudo tener leche y, a partir de ella, los quesos, cremas y demás derivados tan apreciados en la comida mexicana.

Los procesos de destilación sirvieron para obtener "brandys" pero principalmente las primeras bebidas fuertes nacionales tales como el mezcal y el tequila, que no estaban sujetas a las restricciones que se imponía al cultivo de la vid. Desde luego, al introducirse las técnicas europeas de tejido, así como nuevas fibras textiles, se importaron con ellas nuevos procesos de teñido y acabado. También hubo avances en la cerámica y en los pigmentos y pinturas.⁷

1.3 El siglo XIX

En los años que siguieron a la guerra de Independencia la situación política, económica y social del país no fue favorable a los estudios científicos y a la adopción de las nuevas tecnologías que en otras partes del mundo estaban ya provocando una revolución industrial. México tardó casi medio siglo en reincorporarse a la investigación científica, a pesar de los esfuerzos que diversos gobiernos, particularmente el de Valentín Gómez Fariás, realizaron para reformar los estudios científicos con la creación de escuelas de estudios mayores como las establecidas por ese mandatario en 1833. Las viejas instituciones como el Colegio de Minería o el Jardín Botánico, padecieron seriamente los efectos de las crisis.

La reforma positivista echó las bases de la investigación científica moderna en México y propició la creación de nuevas instituciones científicas y pedagógicas de nivel superior, entre las que cabe mencionar a la Universidad Nacional.⁸

7 Valiente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química, Enero 1996, p. 16

8 Trábulse Elías, LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MÉXICO, Historia Temática, México, 1990; pp. 22, 23.

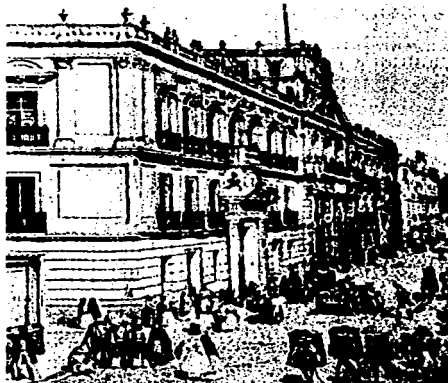


Figura 2. Vista del palacio de Minería en el siglo XIX.
Fuente: Para quitarle el polvo, Educación Química, Enero 1996⁹

Ciencias químicas

Los estudios de la química en la época nacional tienen como antecedente obvio los cursos e investigaciones realizadas en el Colegio de Minería, institución que, como ya vimos, introdujo la química moderna en nuestro país. A las cátedras ahí impartidas asistían no sólo los estudiantes de mineralogía y metalurgia sino también médicos farmacéuticos, para quienes la farmacia sin estudios químicos resultaba, y con razón, una actividad puramente empírica y sin valor científico.

El Dr. Río de la Loza se dedicó al estudio de la farmacia después de haber obtenido el grado de cirujano; de ahí pasó a la investigación química propiamente dicha, llegando a poseer un asombroso dominio en las

⁹ Vallente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química, Enero 1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



operaciones de análisis, sobre todo en la determinación de sales. Escribió el primer tratado de química que se publicó en México, en este libro abordó el tema de la nomenclatura moderna, las leyes de las combinaciones, la teoría atómica de Dalton, las diversas sustancias (elementos) y sus combinaciones, así como nociones de cristalografía y el uso de instrumentos de laboratorio. Fue premiado en Londres por el descubrimiento del ácido pipitzoico, un producto vegetal.

Por esa época se funda una de las primeras industrias químicas mexicanas, en 1875, la fábrica de ácidos de la Viga, junto al canal de la Viga en el Distrito Federal. En ella se produjeron ácidos, sales, fertilizantes y diversos materiales utilizando equipos y técnicas alemanas. Durante el gobierno de Porfirio Díaz se establecieron industrias de alta capacidad en los ramos textil, vidriero, cervecero y siderúrgico. A pesar del auge industrial, las materias primas básicas se importaban de Europa, de donde provenían también los ingenieros y los químicos requeridos para la buena marcha de la industria¹⁰

1.4 El siglo XX

Uno de los factores decisivos en el desarrollo científico del México contemporáneo fue la creación en 1910 de la Universidad Nacional de México, por el nivel que logró dar a la investigación. La Escuela de Altos Estudios, integrada a la Universidad, impartía cursos avanzados de física, química, matemáticas y biología. Esta escuela fue el origen de las distintas facultades de ciencias de la actual Universidad. En 1916 se formó la Escuela de Química, al año siguiente la Escuela Médico Militar y en 1936 la Escuela Superior de Ingeniería Química perteneciente al Instituto Politécnico Nacional. En 1960 esta institución creó el Centro de Investigación y Estudios Avanzados que contaba con áreas de matemáticas, fisiología, electrónica y física nuclear.¹¹

¹⁰ Garriz, Andoni, QUÍMICA EN MÉXICO: AYER, HOY Y MAÑANA, Fac. de Química, UNAM, México, 1991.

¹¹ Trabulse Elías, LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MÉXICO, Historia Temática, México, 1990; pp. 42, 43.



La primera idea de que la química debía ser una ciencia independiente y fuerte en México, la tuvo Salvador Agraz en 1913, quien presentó al entonces Presidente de la República Mexicana, Don Francisco I. Madero, el proyecto de creación de la primera escuela de Química que sirviera de base para la industrialización de México. Desgraciadamente, el asesinato del Presidente Madero impidió su cristalización.

Por segunda ocasión, a principios de 1915, propuso al Lic. José Vasconcelos, quien era Secretario de Instrucción Pública y Bellas Artes, la fundación de la escuela, lo que no fue posible por presentarse cambios en el gabinete.

Al año siguiente, el Ing. Félix F. Palavicini, quien había sido designado por Don Venustiano Carranza como Ministro de Instrucción Pública, se interesó en el proyecto, y le encargó al Maestro Agraz su ejecución, lo que permitió que el 23 de septiembre de 1916 se firmara el acta constitutiva por el propio Presidente Carranza, el Ing. Palavicini y el Lic. José Natividad Macías, entonces Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México. Lo anterior dio origen a la Escuela Nacional de Química Industrial, hoy Facultad de Química de la UNAM.¹²

En 1936 se formó la Escuela Superior de Ingeniería Química perteneciente al Instituto Politécnico Nacional.

Bajo la dirección de Don Juan Salvador Agraz, la escuela de Química en Tacuba, D.F., prosperó y agrupó las carreras de Químico, Farmacéutico y Metalurgista. No obstante, fue en 1925 cuando por intervención de Don Estanislao Ramírez se introdujo el estudio de la ingeniería química en nuestro país. Don Estanislao Ramírez Ruiz (1887-1962) nació en Tláhuac D.F; indígena de abolengo, que se remontaba al rey Netzahualcóyotl, estudió ingeniería industrial en el Colegio Militar, siendo alumno distinguido del general Felipe Ángeles, y posteriormente estudió un posgrado en la Sorbona de París, en donde fue ayudante del célebre científico Henry Le Chatelier. Impartió los

¹² Semblanza del Maestro Agraz por Diáquez Agraz de Rojo, María Josefina, Rojo y de Regil, Eduardo. JUAN SALVADOR AGRÁZ (1887-1949). FUNDADOR DE LA PRIMERA ESCUELA DE QUÍMICA EN MÉXICO. UNAM.



primeros cursos de ingeniería química de 1925 a 1933, y posteriormente ingresó al Instituto Politécnico Nacional, donde fundó la carrera de Ingeniero Químico Industrial, siendo uno de sus primeros profesores. Por estas razones se lo considera el fundador de la ingeniería química en México.¹³

Los Ingenieros Químicos, se encontraron con que el campo de trabajo era muy reducido, en parte debido a que la industria química era casi inexistente y en parte a que las empresas empleaban a técnicos extranjeros para la operación de sus plantas.

La expropiación del petróleo, decretada por el presidente Lázaro Cárdenas, fue el impulso definitivo para el crecimiento de la industria química en México. Fue a partir de éste acontecimiento, en 1938, que se vio la importancia de contar con ese tipo de profesionales en el país, de allí que se instituyera también por esos años la carrera de ingeniería química en el Instituto Politécnico Nacional, en 1949.

El IPN es una de las instituciones más grandes del país y una de las que presenta mayor número de egresados en ingeniería química. Los tecnológicos regionales se crearon bajo las bases del IPN y su creación obedeció a la necesidad de una descentralización y desconcentración de la educación técnica. Su finalidad fue la de llevar la educación a la provincia para brindar igualdad de oportunidad de educación a todos los estudiantes de los estados del país.

En la década de los treinta, la actividad preponderante del ingeniero químico era la operación de las plantas en una industria de predominio artesanal.

Después, a raíz de la nacionalización de la industria petrolera, aparece la necesidad de realizar actividades de planeación y desarrollo de proyectos industriales debido al nacimiento de nuevas industrias químicas.

¹³ Valiente-Bárderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996. p. 18



Además, un buen número de ingenieros químicos empiezan a desarrollar labores de ventas y de servicios técnicos a clientes.



Figura 3. La construcción de plantas químicas ha sido una de las tareas preponderantes del ingeniero químico mexicano.

Fuente: Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996¹⁴

Si bien durante la década de los cuarenta se establecieron un buen número de empresas pequeñas y medianas, es alrededor de los años cincuenta cuando se inicia un desarrollo sostenido en la fabricación de productos químicos básicos, lo que da lugar a que el ingeniero se vea involucrado en actividades de montaje de plantas, de ingeniería de detalle y de la estimación de costos del proyecto, iniciándose con esto la disciplina de la ingeniería de proyectos.¹⁵

La década de los sesenta estuvo marcada por el nacimiento y desarrollo explosivo de la industria petroquímica, lo cual exigió al profesional de la ingeniería química manejar parámetros económicos a escala nacional, actuar en los mercados internacionales de productos químicos, y en la selección y

¹⁴ Vallente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996

¹⁵ Hernández-Luna, M., PROPUESTA CURRICULAR PARA LA CARRERA DE INGENIERO QUÍMICO, Facultad de Química, UNAM, 1987.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



compra de tecnología en el extranjero. También en esa década, el ingeniero químico se dio a la tarea de asimilar y adaptar tecnología.

Durante los setenta siguió el crecimiento de la petroquímica básica, se inició una considerable diversificación de la petroquímica secundaria, un aumento importante en la fabricación de plásticos y fibras sintéticas, así como un notable aumento en la producción de fertilizantes.

En esta época aparece una nueva actividad en el ámbito de la ingeniería química nacional: la ingeniería de procesos, área que incluye el diseño estratégico de procesos, el desarrollo del paquete de la ingeniería básica, la simulación y la optimización de procesos.

En forma simultánea, se empieza a disponer de laboratorios e instalaciones que permiten desarrollar la ingeniería básica experimental, permitiendo llevar a cabo la concepción de procesos, el desarrollo de la tecnología a escala piloto, y el cálculo y escalamiento a dimensiones industriales.

Los años ochenta vieron primero la disminución del crecimiento de la planta industrial química y luego la apertura del mercado, con lo cual la industria química mexicana fue lanzada abruptamente a competir en el mercado mundial.

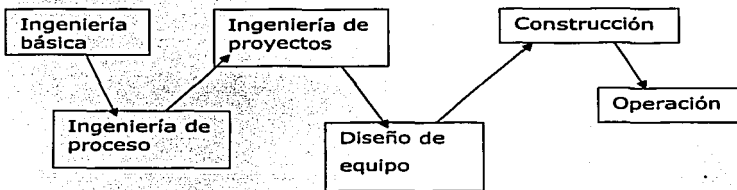
El énfasis durante esta década fue en el ahorro de energía, la automatización, el aumento de la calidad de los productos y el cuidado ambiental.

Se trató además de consolidar a los grupos de investigación y desarrollo, al menos en las grandes industrias. Pero era demasiado tarde, la competencia contra los grandes imperios químicos, que gastan miles de millones de dólares anualmente en la investigación y desarrollo, hizo que muchas empresas tuvieran que cerrar o unirse a socios extranjeros para así poder obtener la tecnología necesaria para poder seguir compitiendo.



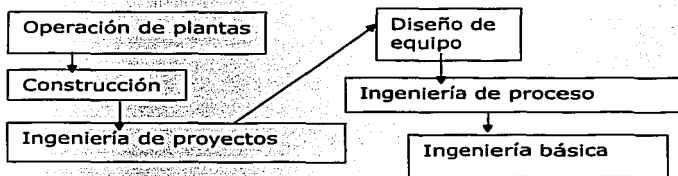
La década de los noventa ha acentuado todavía más este estado de cosas. El conjunto de actividades que ha desarrollado el Ingeniero químico mexicano dentro de su ejercicio profesional y las épocas en que éstas se han iniciado indican que al parecer, la historia de la ingeniería química mexicana ha ido en sentido contrario al de la secuencia obligada en la creación de plantas industriales de proceso.¹⁶

Diagrama de una planta industrial



Fuente: Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996¹⁷

La ingeniería química mexicana



Fuente: Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996¹⁸

16 Hernández-Luna, M., PROPUESTA CURRICULAR PARA LA CARRERA DE INGENIERO QUÍMICO, Facultad de Química, UNAM, 1987.

17 Vallente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996, p. 20.

18 Vallente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996



En el diagrama el orden en el que avanza el desarrollo de una planta industrial y en el que derivó la historia de la ingeniería química mexicana. Este curioso contraste pone de manifiesto la debilidad de la ingeniería mexicana, la cual es producto de las políticas de industrialización implementadas por el gobierno y, además, del hecho de que las industrias químicas en México se crearon para sustituir importaciones, con lo cual se pensó que lo mejor era comprar tecnología y no siempre de punta.¹⁹

Este curioso contraste pone de manifiesto la debilidad de la ingeniería mexicana, la cual es producto de las políticas de industrialización implementadas por el gobierno y, además, del hecho de que las industrias químicas en México se crearon para sustituir importaciones, con lo cual se pensó que lo mejor era comprar tecnología y no siempre la de punta.

Los años setenta fueron de auge para la petroquímica y la química en el país.

Casi un siglo después de la supresión de la Real y Pontificia Universidad, el 27 de Noviembre de 1927, la UNAM reinició los estudios formales de posgrado en el país. El posgrado en química se establece como especialidad independiente en 1941, al crearse el Instituto de Química en la UNAM, el 5 de abril de 1941, con fondos de la Casa de España en México y del Banco de México. Este instituto fue el origen de la investigación química nacional.

Hoy, existen instituciones diferentes de la universidad y la industria en donde se imparten conocimientos, tanto formales como informales. Éstas son las asociaciones de profesionales, de las cuales para los ingenieros químicos mexicanos la más importante es el IMIQ.

En 1957, se creó el Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, A.C. (IMIQ). El IMIQ es una asociación civil que agrupa a los profesionales de la Ingeniería Química para lograr el desarrollo en teoría y práctica de esa rama de la

¹⁹ Vallente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO. Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996. p. 20.



tecnología, así como para mantener el más alto nivel profesional entre sus miembros.²⁰

El Instituto realiza conferencias que lleven, a todos, los conocimientos de los diferentes campos y materias profesionales, que forman el acervo de conocimientos necesarios para el desarrollo del ingeniero químico.

El Instituto ha servido además de plataforma para lograr la comunicación con Institutos similares de otros países entre los que destaca el poderoso AICHE de los Estados Unidos.²¹

²⁰ Valiente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996. p. 24.

²¹ Valiente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996. p. 24.



CAPÍTULO 2

Ciencia y Tecnología.

Los significados de los términos ciencia y tecnología han variado significativamente de una generación a otra. Sin embargo, se encuentran más similitudes que diferencias entre dichos términos.

La ciencia y la tecnología implican un proceso intelectual, ambas se refieren a relaciones causales dentro del mundo material y emplean una metodología experimental que tiene como resultado demostraciones empíricas que pueden verificarse mediante repetición.

La ciencia, al menos en teoría, está menos relacionada con el sentido práctico de sus resultados y se refiere más al desarrollo de leyes generales; pero la ciencia práctica y la tecnología están inextricablemente relacionadas entre sí. La interacción variable de las dos puede observarse en el desarrollo histórico de algunos sectores.

En realidad, el concepto de que la ciencia proporciona las ideas para las innovaciones tecnológicas, y que la investigación pura, por tanto, es fundamental para cualquier avance significativo de la civilización industrial tiene mucho de mito. La mayoría de los grandes cambios de la civilización industrial no tuvieron su origen en los laboratorios.

Las herramientas y los procesos fundamentales en los campos de la mecánica, la química, la astronomía, la metalurgia y la hidráulica fueron desarrollados antes de que se descubrieran las leyes que los gobernaban. Por ejemplo, la máquina de vapor era de uso común antes de que la ciencia de la termodinámica dilucidara los principios físicos que sostenían sus operaciones. Sin embargo, algunas actividades tecnológicas modernas, como la astronáutica y la energía nuclear, dependen de la ciencia.



En los últimos años se ha desarrollado una distinción radical entre ciencia y tecnología. Con frecuencia los avances científicos soportan una fuerte oposición, pero en los últimos tiempos muchas personas han llegado a temer más a la tecnología que a la ciencia. Para estas personas, la ciencia puede percibirse como una fuente objetiva y serena de las leyes eternas de la naturaleza, mientras que estiman que las manifestaciones de la tecnología son algo fuera de control.

2.1 Ciencia

La ciencia (lat. "scientia") se propone descubrir leyes a fin de comprender la realidad. Es un conjunto de conocimientos y leyes que rigen la dinámica de la naturaleza y de la sociedad. ²²

Se puede considerar:

Ciencia básica: motivación cognoscitiva

Ciencia aplicada: motivación por problemas de posible interés social y/o económico

Ambas aplican el método científico (datos, hipótesis, teorías, técnicas de cálculo y medición, etc.).

2.2 Tecnología

Tecnología es el término general que se aplica al proceso a través del cual los seres humanos diseñan herramientas y máquinas para incrementar su control y su comprensión del entorno material. El término proviene de las palabras griegas tekné, que significa 'arte' u 'oficio', y logos, 'conocimiento' o 'ciencia', área de estudio; por tanto, la tecnología es el estudio o ciencia de los oficios.

²² Bunge Mario; LA CIENCIA, SU MÉTODO Y SU FILOSOFÍA. Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires, 1988.



Algunos historiadores científicos argumentan que la tecnología no es sólo una condición esencial para la civilización avanzada y muchas veces industrial, sino que también la velocidad del cambio tecnológico ha desarrollado su propio ímpetu en los últimos siglos.

Las innovaciones parecen surgir a un ritmo que se incrementa en progresión geométrica, sin tener en cuenta los límites geográficos ni los sistemas políticos. Estas innovaciones tienden a transformar los sistemas de cultura tradicionales, produciéndose con frecuencia consecuencias sociales inesperadas. Por ello, la tecnología debe concebirse como un proceso creativo y destructivo a la vez

La tecnología es el conjunto ordenado de todos los conocimientos usados en la producción, distribución (a través del comercio o de cualquier otro método) y uso de bienes y servicios.

Por lo tanto, cubre no solamente el conocimiento científico y tecnológico obtenido por investigación y desarrollo, sino también el derivado de experiencias empíricas, la tradición, habilidades manuales, intuiciones, copia, adaptación, etc.

La tecnología puede estar incorporada al capital en forma de maquinaria y equipo o en recursos humanos a través del entrenamiento local individual, expertos extranjeros, inmigrantes calificados, etc., ó en muchos casos permanecer como tecnología explícita (desincorporada) en forma de documentos, libros, manuales, planos, fórmulas, diagramas, revistas y otros.

2.3 Técnica

Se define como el conjunto de procedimientos de un arte, ciencia o trabajo (habilidad para usar estos procedimientos), que se propone controlar ciertos sectores escogidos de la realidad (le interesan los recursos naturales y/o artefactos con ayuda de conocimiento de todo tipo, incluyendo el científico)



La técnica está fuertemente asociada a los inventos. La mayoría de ellos nacieron sin rigorismo científico, por observación e intuición. Sólo luego se elaboró la teoría que lo fundamentaba, e incluso, permitió perfeccionarlos.

Hacia el siglo XVII aparece la palabra tecnología para diferenciar las técnicas tradicionales (heredadas de generación en generación y fruto de largos tanteos empíricos) de las nuevas técnicas originadas en la cultura científica occidental emergente. Pero, debido a su orientación práctica, adquiere vida propia frente a la ciencia.

La técnica y la tecnología son algunos de los hechos culturales más básicos de nuestra especie humana. Al ¿cómo hacer algo? (arte ó técnica), se le incorporó el ¿porqué hacerlo así? (entender), que permitió cambiar significativamente el "cómo"; entonces se produjo la "revolución tecnológica".

La técnica se relaciona con la habilidad de hacer. La tecnología incorpora el conocimiento científico a la técnica. Pero a la ciencia y a la tecnología se les escapa el ¿qué producir?, ¿porqué producir? y ¿para qué producir?, que entran al campo económico, político, social, cultural, educativo, ecológico, psicológico y/o ético. ²³

2.4 Ingeniería.

Es la actividad específica de aplicar o desarrollar tecnología. También, Ingeniería de un producto o servicio es el conjunto documental en el cual queda registrada la resultante de la actividad en cuestión. Este conjunto documental es de hecho, un conjunto ordenado de conocimientos que permite

²³ Jorge A. Sabato y Michael Mackenzie; LA PRODUCCIÓN DE TECNOLOGIA - Editorial Nueva Imagen, México, 1982 (pág. 25)



la fabricación de un producto o la prestación de un servicio. En este último sentido, la ingeniería es tecnología.

2.5 Desarrollo tecnológico

El desarrollo tecnológico consiste en trabajos sistemáticos basados en los conocimientos existentes, derivados de la investigación y/o la experiencia práctica, dirigidos a la producción de nuevos materiales, productos, procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los existentes, todo realizado con sentido económico y confidencial y orientado hacia un destinatario predeterminado.

El desarrollo tecnológico agrega al haber técnico y al método científico, el estar orientado hacia un resultado y destinatario predeterminados y además, realizado con sentido económico y confidencial.

En líneas generales, el supuesto básico para la iniciación de un desarrollo tecnológico específico, es la existencia de un destinatario (cliente) y de un posible beneficio económico.

2.6 Tecnología, ingeniería e industria

Para la colocación de un bien en el mercado, además de su ingeniería de producto, es necesaria la correspondiente ingeniería del proceso de fabricación (nexo entre producto y producción) y la negociación con el cliente (nexo entre producción y mercado). Estos dos últimos aspectos son el ámbito natural de la industria.

Resulta de lo anterior, el vínculo entre tecnología, ingeniería e industria y el rol preponderante que, como profesional de la ingeniería, juega el ingeniero en las áreas mencionadas. El ingeniero es, en cada caso particular, el que materializa, a través de las actividades de ingeniería, la creación o modificación de un bien o servicio,



CAPÍTULO 3

CASOS DE AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA.

3.1 Proceso DEMEX

En 1977, a 40 años de la expropiación petrolera, se inauguró en Ciudad Madero, Tamaulipas, la primera planta DEMEX inventada, desarrollada y construida por mexicanos, con una inversión aproximadamente de 262.5 millones de pesos, cuya función era la desmetalización selectiva de residuos obtenidos en los procesos de destilación de petróleo al alto vacío.

Esta planta, construida según patentes y planos elaborados por el IMP, era una de las más importantes contribuciones tecnológicas logradas por el Instituto.

En los combustibles se encuentran, necesariamente, por la misma constitución de los crudos, metales como el níquel, el vanadio, el cobre y el hierro, y un cierto porcentaje de azufre -en cantidades más o menos elevadas, que al quemarse se transforma en SO_2 , el cual, por supuesto, contamina la atmósfera.

En ciertos países, por ejemplo Japón, los Estados Unidos y algunos de Europa, tenían severas restricciones sobre la emisión de compuestos sulfúricos en la atmósfera; restricciones mucho más severas que las establecidas en México.

Hasta la invención de DEMEX, los procesos mundialmente conocidos para eliminar dicho azufre eran todos prácticamente catalíticos; por lo tanto, no ideales, puesto que al catalizador, es decir, al elemento promotor de la reacción, lo envenena la presencia de metales o compuestos organometálicos mezclados con el combustible y compuestos de azufres.



Así, el azufre sólo podría eliminarse cambiando o tratando muy a menudo el catalizador envenenado, lo cual es factible, pero a costos sumamente elevados.

Por lo tanto, el problema en el proceso de desulfurización estribaba en hallar una técnica que aumentase la vida del catalizador; eliminar los metales cuya concentración varía según el tipo de petróleo y según su procedencia.

Los metales o compuestos metálicos pueden ser dañinos para el proceso de eliminación de azufre en niveles de 150 partes por millón. Los crudos mexicanos contienen alrededor de 500 partes, cifra que se considera también como una concentración alta cuando se pretende desulfurizar el petróleo.

DEMEX consistía, básicamente, en una extracción selectiva por medio de hidrocarburos de bajo peso molecular. El proceso ponía en contacto el residuo con un solvente para eliminar los asfaltenos y parte de la fracción aromático-polar, dependiendo del grado de eliminación de metales que se deseaba

DEMEX procesaba básicamente residuos con altos contenidos de asfaltenos, que englobaban la mayor parte de los metales, proporcionaban una lata viscosidad al residuo y ocupaban un volumen muerto en los procesos para residuos.

Las dos más importantes aplicaciones de DEMEX eran, producir más gasolina (planta en Ciudad Madero) y desulfurizar (planta de Hábeas Christi). Además DEMEX tenía la ventaja de reducir sustancialmente la viscosidad, con esto mejoraban las características físicas del combustible y aumentaba, por tanto, su precio de venta.²⁴

²⁴ Buró, Andrea. EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO EXPORTA TECNOLOGÍA; Ciencia y Desarrollo. CONACYT, 1978.p. 27



Fig. 4 Proceso DEMEX en la refinería de Champán, en Corpus Christi, Texas.
Fuente: Revista Ciencia y Desarrollo. CONACYT, 1978.²⁵

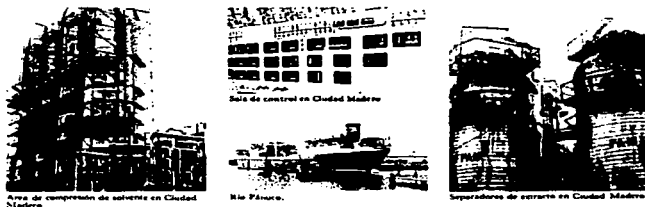


Fig. 5 Diferentes áreas en Ciudad Madero.
Fuente: Revista Ciencia y Desarrollo. CONACYT, 1978.²⁶

3.2 Plantas criogénicas

México fue el primer país del mundo que comenzó a procesar su gas por medio del sistema criogénico (del griego *krios*-frio-, *génesis*-nacimiento-). El establecimiento de estas plantas de licuefacción a bajas temperaturas se facilitó desde un punto de vista natural, por las características del gas mexicano: un gas seco y con elevado contenido de etano, elemento alimentador de las plantas de etileno, producto fundamental para la industria petroquímica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

²⁶ Buró, Andrea. EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO EXPORTA TECNOLOGÍA: Ciencia y Desarrollo. CONACYT, 1978.p. 27



Características de operación de las plantas criogénicas

PLANTA CRIOGÉNICA IMP

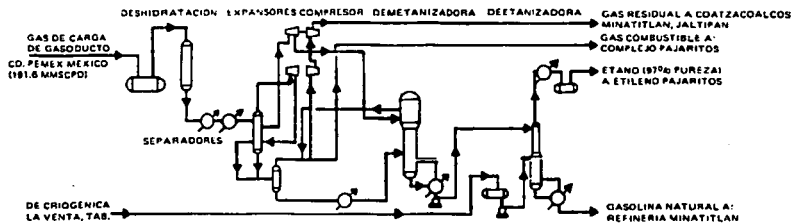


Fig. 6. Diagrama de la planta criogénica del Complejo Industrial Pajaritos, Veracruz. (Función primordial: obtención de etano)

Fuente: Ciencia y Desarrollo. CONACYT. México, 1979.²⁷

El petróleo que se extraía de los pozos en operación llegaba a la superficie mezclado con gas natural y ambos elementos eran separados de inmediato en dos corrientes aprovechables que requerían distintos tratamientos.

A pesar de esa primera separación, cada una de estas dos sustancias –en mutuo contacto durante millones de años– conservaba un contenido relativamente elevado de la otra, de tal manera que en el petróleo sin procesar podían hallarse restos considerables de gas, y en el gas un cierto porcentaje de petróleo. La función de las plantas criogénicas consistía precisamente en efectuar la recuperación de los hidrocarburos contenidos en el gas, separándolos en función de su grado de volatilidad y enviándolos luego a la misma planta criogénica o a las plantas procesadoras de otros complejos industriales.

La alimentación de las plantas criogénicas se producía invariablemente mediante una corriente de gas natural (o en forma eventual, gases de

²⁷ Rodríguez, Horacio; **PLANTAS CRIOGÉNICAS: LA NUEVA ETAPA DE LA PETROQUÍMICA**. Ciencia y Desarrollo. CONACYT. México, 1979. p. 103.



refinería) previamente endulzado, es decir, sin los componentes de azufre (ácido sulfhídrico, mercaptanos) con los que el gas mexicano viene asociado en un primer momento. En el gas natural se encontraba una amplia gama de elementos licuables que variaban en peso según su tamaño molecular: metano, etano, propano, butano, pentano e hidrocarburos más pesados, es decir, gasolinas.

El procedimiento de separación de cada uno de estos elementos operado en el interior de las plantas criogénicas consistía, a grandes rasgos, en una compresión de la carga alimentadora (que varía en función de la propia compresión de ésta), una deshidratación del gas posterior y el enfriamiento del mismo por medio de las corrientes frías residuales y -en ciertos casos utilizando un refrigerante adicional.

La operación principal del proceso se llevaba a cabo dentro de los turboexpansores, verdadero "centro neurálgico" de las plantas criogénicas. Expresado en términos sencillos, el principio operativo de los turboexpansores puede resumirse así: todos los gases que se someten a una cierta presión reciben una X cantidad de trabajo, una cierta energía que se va a manifestar en un aumento de temperatura; inversamente, si se les quita trabajo (es decir, compresión) esa temperatura va a disminuir proporcionalmente a la expansión, que es el trabajo desempeñado por los turboexpansores de las plantas criogénicas.

Los líquidos criogénicos no recibían una comercialización directa -con excepción quizá de la mezcla propano-butano, que se empleaba como gas licuado para consumo doméstico-sino que servían como elementos alimentadores para las diferentes plantas existentes en los complejos industriales de Pajaritos y Poza Rica (Veracruz), La Venta y Ciudad PEMEX (Tabasco), y en la gigantesca unidad industrial de La Cangrejera. Esta última linda con Pajaritos, y se contaría -una vez en operación plena- entre los complejos petroquímicos más grandes del mundo.



Los hidrocarburos recuperados eran enviados, según las necesidades de producción de las diversas plantas de uno a otro complejo por medio de una red Interconectada instalada en las mencionadas unidades industriales.

El funcionamiento de las plantas criogénicas significó un adelanto técnico muy marcado en el terreno de la Ingeniería Química, en la recuperación de hidrocarburos del gas natural con respecto a las plantas llamadas "de absorción", tradicionalmente utilizadas con idéntica finalidad.

Las diferencias existentes entre las gigantescas y complejas plantas de absorción y las modernas plantas criogénicas, podían apreciarse sólo con observar sus respectivas dimensiones. En primer lugar, el volumen de equipo de aquéllas superaba en tres o cuatro veces al de éstas últimas con el consiguiente ahorro que esto representaba en recursos humanos para mantener la planta en funcionamiento. Luego, el proceso de recuperación de licuables era notoriamente mejor en las plantas criogénicas que en las de absorción y, finalmente, el manejo del sistema criogénico se hallaba concentrado en cuartos de control que posibilitaban la operación de la planta, inexistentes en las plantas de absorción, cuyos controles se hallaban dispersos en el equipo.

Una somera comparación entre las plantas criogénicas y de absorción de La Venta, Tabasco, permitían comprobar las ventajas de la primera con relación a la segunda. La planta criogénica recibía una carga de gas natural de alrededor de 230 millones de pies cúbicos al día, a una presión cercana a 44 Kg. por cm², y de ella se obtenía una producción del orden de 23 mil barriles diarios de licuables compuestos por etano, propano, butano, y más pesados. Esta planta criogénica estaba constituida primordialmente por un módulo de turboexpansión que permitía alcanzar temperaturas de hasta -90°C y contaba con un sistema auxiliar de refrigeración que pre-enfriaba la carga antes de que ésta llegara a los turboexpansores.



La planta de absorción, por su parte, con una carga de diseño de aproximadamente 204 millones de pies cúbicos diarios, produce una recuperación de alrededor de 11 mil barriles al día de licuables, lo que representaba más o menos la mitad de la producción de la planta criogénica de la misma unidad industrial, con una carga inferior a la de ésta, en cerca de sólo 29 millones de pies cúbicos de gas. En el domo de la torre de licuables de las plantas de absorción, el gas residual recuperado experimentaba una pérdida de etano mayor que la que se producía en las torres de las plantas criogénicas (en el caso de La Venta esos valores eran de 9% y lo 2% respectivamente), lo que indicaba claramente que la recuperación mediante el proceso criogénico era más drástica.

Volviendo a las diferencias generales entre los equipos de ambos tipos de planta, las de absorción empleaban -como hemos señalado- mucho más equipo mecánico para el manejo del aceite absorbente y la compresión del gas residual, además de calentadores accesorios que se utilizaban para elevar la temperatura de ese mismo aceite.

El plan de construcción de plantas criogénicas prometía una aceleración aún mayor para la petroquímica mexicana. Para fines de 1979, el punto más alto de esa aceleración estaría constituido por las dos plantas IMP números 1 y 2 de la unidad industrial de Cactus, Chiapas.

La ingeniería de ambas plantas fue proporcionada totalmente por el Instituto Mexicano del Petróleo (de allí su denominación de "Plantas IMP") y su producción conjunta alcanzaría los 1 000 millones de pies cúbicos diarios, convirtiéndose en las dos plantas recuperadoras de licuables más grandes de Latinoamérica.

Ya desplazadas las costosas y obsoletas plantas de absorción y con mayores volúmenes de recuperación, la petroquímica mexicana, además de abastecer



las necesidades del país, abrió para México un renglón de exportación de importante movimiento económico.²⁸

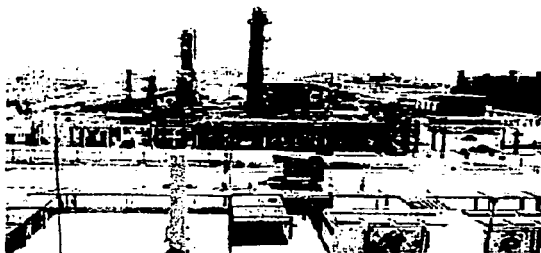


Fig. 7. Planta criogénica del complejo Industrial Pajaritos, Veracruz, una de las primeras en su género.
Fuente: Ciencia y Desarrollo. CONACYT. México, 1979.²⁹

3.3 En el área de catálisis

En la división de catálisis, en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), alrededor de 1976, se llevaban a cabo investigaciones en el sector petroquímico, (sector industrial productor de derivados del petróleo, los cuales no serán destinados al consumo inmediato (como se hace con los combustibles, lubricantes y asfaltos), sino que serán empleados como reactivos intermediarios); por ejemplo, en la refinación del petróleo y las operaciones petroquímicas, las sustancias hidrocarbonadas eran sometidas a tratamientos con el fin de modificar la estructura (isomerizaciones diversas) o a transformarlas en derivados funcionales múltiples (olefinas, hidrocarburos aromáticos, derivados clorados, etc.).

Por razones económicas, las operaciones petroquímicas debían satisfacer dos exigencias mayores: en una mezcla compleja de reactivos, la reacción de

²⁸ Rodríguez, Horacio; PLANTAS CRIOGÉNICAS: LA NUEVA ETAPA DE LA PETROQUÍMICA. Ciencia y Desarrollo. CONACYT. México, 1979. p. 103.

²⁹ Rodríguez, Horacio; PLANTAS CRIOGÉNICAS: LA NUEVA ETAPA DE LA PETROQUÍMICA. Ciencia y Desarrollo. CONACYT. México, 1979.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



transformación deseada debía realizarse selectivamente sobre un reactivo a fin de obtener uno o un sistema único de productos.

En efecto, una mezcla reaccionante compleja era susceptible de sufrir, espontáneamente o por activación, transformaciones variadas y producir diferentes tipos de productos. Podía verse por lo tanto, el interés que existía en buscar medios de activación que realizaran selectivamente la reacción buscada.

Los catalizadores deben su interés a su acción activante (actividad) y a su acción orientadora (selectividad) que confieren a las transformaciones químicas.

Tradicionalmente la investigación en catálisis había sido encaminada al desarrollo de catalizadores capaces de manifestar su actividad, disueltos en el medio reaccionante, {líquido-líquido, por ejemplo) o bien en las que el catalizador se encontraba en una fase distinta a la de los reactivos {sólido-gas, por ejemplo) lo que condujo respectivamente a dividir la catálisis en homogénea y heterogénea e interpretar su acción en ambos casos en forma separada.

La fijación por diversos procedimientos de las especies activas de la catálisis homogénea sobre distintos materiales, condujo a la preparación de una nueva clase de catalizadores conocidos con el nombre de "catalizadores de soporte químico", que permiten realizar con los procedimientos de la catálisis heterogénea, aquellas reacciones que sólo eran hechas en fase homogénea.

Estos catalizadores presentaban propiedades diferentes de las características de los catalizadores sólidos, tanto por su notable actividad como por su elevada selectividad. Esto conduce a aceptar, que poseen centros activos de naturaleza diferente a los admitidos en los catalizadores heterogéneos clásicos.



Los nuevos catalizadores se obtenían por interacción directa entre un material que servía de soporte y una especie catalíticamente activa que se encontraba en solución.

La fijación de la especie activa no implicaba, como en el caso de los catalizadores heterogéneos clásicos, una simple deposición; sino que existían evidencias experimentales que mostraban la formación de verdaderos enlaces químicos entre el soporte y la especie fijada. Por esta razón, el soporte se consideraba como un soporte químico.

Además de realizar investigaciones en el área de catálisis, en el terreno de la Ingeniería Química y la construcción y operación de plantas, se habían tenido avances importantes; esto se debía en parte a los desarrollos propios de la Ingeniería y a la presencia del sector público, representado por PEMEX y Guanos y Fertilizantes, que habían sabido aprovechar y fomentar este tipo de conocimientos y experiencias.³⁰

En el área de los catalizadores, se tuvo avance en cuanto al desarrollo de catalizadores de aplicación industrial;

Catalizadores con las siguientes aplicaciones:

- * reformación de gas natural
- * oligomerizar etileno
- * desintegración de gasóleos
- * obtención de éter dimetilico
- * oxiclorar etileno
- * obtención de óxido de etileno
- * para amoxidar propileno
- * para deshidrogenación de residuos pesados

³⁰ Linarte Lazcano, Ricardo, Shifter, Isaac: CATÁLISIS CON ENTIDADES ACTIVAS SOPORTADAS QUÍMICAMENTE; Ciencia y Desarrollo, No. 7; México; Marzo/Abril 1976.



Los catalizadores de hidrodesulfuración ya se encontraban en operación en la Refinería de Minatitlán, Veracruz. Otros, entraron en operación en la Refinería de Tula, Hidalgo, y Salamanca, Guanajuato.

En el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), se ha estimulado durante más de tres décadas la formación del grupo de catálisis más sólido de América Latina, a fin de procurar el desarrollo de la refinación y la petroquímica. Entre sus mayores logros: la obtención de 50 patentes (ocho de ellas en el extranjero) y 23 en trámite, que permiten obtener hidrocarburos limpios y eficientes no sólo en México, sino en naciones como Ecuador, Rumania, Argentina, Colombia o Arabia Saudita.

La gasolina se obtiene, en primera instancia, a través de la destilación del aceite crudo; en esta etapa, el combustible tiene un bajo índice de octano, cualidad muy necesaria para la correcta combustión y el buen funcionamiento de los vehículos modernos. El combustible recién destilado tiene unas 45 unidades de octano, por lo que no es posible utilizarlo directamente.

Por otra parte, esa gasolina contiene altos niveles de azufre, del orden de 800 partes por millón, en tanto que la especificación ambiental en México exige un valor máximo de 500 ppm. Se estima que, incluso, en un futuro cercano se exigirán niveles todavía más bajos, de alrededor de cien partes por millón.

De esta forma, la obtención de una gasolina exige primero retirar los altos niveles de azufre, a través de un proceso llamado hidrodesulfuración, en el cual se combina al azufre con hidrógeno para formar ácido sulfhídrico y así retirarlo del hidrocarburo.

En esta parte, es donde actúa el catalizador, que para el caso se hace con níquel y molibdeno o cobalto y molibdeno. Estos metales se ponen en contacto directo con el hidrocarburo a través de reactores químicos. Concluida esta reacción, la gasolina tiene niveles de azufre casi iguales a cero.



Se traslada entonces a otro reactor donde se realiza un proceso de reformación de naftas, donde se transforman algunos de los compuestos que forman la gasolina en aromáticos y naftenos a fin de aumentar el número de octano.

Esto también se logra con catalizadores, sólo que basados en metales preciosos: platino y renio o platino y estaño. Estos metales se colocan en un soporte que permite el acceso de las moléculas de hidrocarburo a los sitios activos del catalizador. Las moléculas parafínicas de la gasolina, de gran longitud, reaccionan químicamente hasta que se *tuercen* o ramifican.

Esas ramificaciones evolucionan hasta convertirse en moléculas cíclicas, conocidas como naftenos.

Posteriormente, a los naftenos se les retiran átomos de hidrógeno para formar compuestos aromáticos, entonces así es como se obtiene una gasolina de alrededor de 95 octanos, que es una de las materias primas para la producción de la gasolina comercial.³¹

Mejoramiento de la calidad de los combustibles desarrollando un catalizador de a base de monolitos cerámicos

Uno de los principales objetivos del IMP ha sido contribuir al cuidado ambiental, así como al ahorro y uso eficiente de la energía. Por ello, una de las áreas en las que se han centrado es en la de mejoramiento de la calidad de los combustibles que produce Petróleos Mexicanos; de hecho, se busca que éstos sean cada vez más eficientes para contribuir a la protección del ambiente.

La gasolina se produce mediante varios procesos: la destilación fraccionada del petróleo, la condensación o adsorción de gas natural, la descomposición térmica o catalítica del petróleo o sus fracciones, la polimerización de

³¹ CATALIZADORES DESARROLLADOS EN MÉXICO. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Junio 2000.



hidrocarburos de bajo peso molecular, o bien, la hidrogenación de gasógeno o carbón.

Con este último proceso se consigue gasolina de mayor valor, al mismo tiempo que se purifica químicamente, eliminando elementos no deseados como el azufre.

Pero no hay que olvidar que la combustión de carbón, petróleo y gasolina es el origen de buena parte de los contaminantes atmosféricos (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y macropartículas, así como dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno, en menores cantidades, y compuestos de plomo); aunque entre los materiales que participan en un proceso químico o de combustión puede haber ya contaminantes (como el plomo de la gasolina), o éstos pueden aparecer como resultado del propio proceso.

Los contaminantes producidos por los automóviles pueden controlarse consiguiendo una combustión lo más completa posible de la gasolina, haciendo circular de nuevo los gases del depósito; el carburador y el cárter, y convirtiendo los gases de escape en productos inocuos por medio de catalizadores.

A fin de disminuir las emisiones de hidrocarburos precursores de la formación de ozono, a contar de diciembre de 1992, se puso en marcha la reformulación de las gasolinas automotrices en el Valle de México, que consistió en establecer límites máximos en el contenido de compuestos aromáticos, olefínicos y de benceno, así como en el valor máximo de la presión de vapor de las gasolinas.

En el afán de contribuir al desarrollo de la industria petrolera no sólo en México, sino en donde sus investigaciones y desarrollos tecnológicos lo permitan, el Instituto patentó, en 1994, en Estados Unidos el Procedimiento para la preparación de monolitos cerámicos catalíticamente activos, para la reducción de contaminantes provenientes de motores a gasolina con plomo y



producto resultante, desarrollo que permitió entrar a la vanguardia de lo que eran y son los convertidores.

La patente consistía en un catalizador a base de monolitos cerámicos con una fase activa (gamma-alumina o alumina-cerjada) en una triplete con metales de transición (cobre-cromo-níquel) para la reducción de los contaminantes provenientes de motores a gasolina (HC, CO, Nox).

Esta patente nació como un proyecto patrocinado por PEMEX Refinación, cuyo objetivo era proponer convertidores catalíticos para los vehículos que utilizaban gasolina con plomo (Nova) y, que en un futuro, pudieran utilizarse para el "retrofitting" (parque vehicular anteriores a 1991) de la ciudad de México, principalmente.

Y aunque el objetivo principal era utilizar el convertidor en automóviles con gasolina con plomo, también se probó en vehículos que usaran gasolina sin plomo y sistema full inyección, en donde se obtuvieron excelentes resultados, dándole así el nombre de convertidor catalítico Dual-IMP.

El convertidor catalítico Dual-IMP es un excelente oxidativo que tiene un costo por debajo de los tradicionales a base de metales nobles y, aún más, hoy en día, su uso está a la vanguardia, ya que en algunos estados del país todavía se utiliza gasolina con plomo.

Los investigadores del IMP desarrollaron nuevos catalizadores y realizaron estudios sobre nuevos materiales, formulaciones aditivas, soportes catalíticos, así como técnicas de preparación y tratamientos de activación.

Posteriormente, efectuaron pruebas de comportamiento a nivel banco y planta piloto, culminando con estudios de escalamiento y evaluación final en instalaciones industriales de PEMEX.²²

²² LA MEJORA DE LOS COMBUSTIBLES. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 1999.



Se desarrolló el catalizador para el hidrotratamiento de fracciones del petróleo y procedimiento para su obtención (IMP-DSD-11). Posterior al ingreso industrial de este catalizador y atendiendo la creciente demanda de diesel de alta calidad, PEMEX solicitó al IMP incrementar la efectividad y rendimiento del diseño.

Así, en 1995 se inició el desarrollo del innovador catalizador para la hidrodesulfuración profunda de destilados intermedios del petróleo y producto resultante (IMP-DSD-14).

Los dos catalizadores son aplicados en el proceso de hidrodesulfuración de destilados intermedios, y tienen como objetivo primordial reducir el nivel de contaminantes de azufre, nitrógeno y compuestos aromáticos, considerados como elementos precursores de emisiones tóxicas al medio ambiente.

Mediante su aplicación se logran obtener remociones de azufre superiores al 95 por ciento, que permiten la producción de diesel con concentraciones menores a 500 partes por millón.³³

Tecnologías desarrolladas durante 1998 para ser aplicadas industrialmente en la refinación del petróleo y en la petroquímica básica preferentemente.

- * Proceso para el hidrotratamiento profundo de diesel
- * Proceso catalítico para el endulzamiento de hidrocarburos intermedios.
- * Proceso para la producción de un agente dispersante.
- * Proceso para la producción de inhibidores de incrustación para generadores de vapor.
- * Nuevo material zeolítico de alto relación sílice/alúmina de poro intermedio.
- * Aditivo multifuncional para diesel.

³³ LA MEJORA DE LOS COMBUSTIBLES. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 1999.



- * Agente químico neutralizante para sistemas de destilación primaria de crudo.
- * Soporte para catalizadores ambientales.
- * Equipo separador horizontal de sistemas gas-aceite-agua.
- * Muestreador sub-superficial de gas-vapor para suelos permeables y semipermeables ³⁴

3.4 Biotecnología del Petróleo

El petróleo que se extrae del suelo mexicano contiene altos porcentajes de azufre y por tanto, los combustibles que de él se derivan --gasolina y diesel-- al intervenir en los procesos de combustión emiten partículas de bióxido de azufre (SO₂) que eventualmente generan lluvia ácida. En México, como en otros países productores de hidrocarburos, científicos e investigadores se han dado a la tarea de incursionar en métodos que reduzcan la emisión de contaminantes relacionados con azufre. Aunque los avances se generan prácticamente día con día, nuevas disciplinas se incorporan a la búsqueda de soluciones, como la biología, que ligada a la tecnología presenta soluciones ante los problemas de contaminación de petróleo en aguas, suelos y aire.

En el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) fueron creados recientemente seis programas estratégicos de investigación, uno de ellos asignado a biotecnología del petróleo, y que entre sus objetivos tenía el utilizar seres vivos para degradar el hidrocarburo y transformarlo en compuestos menos tóxicos. Con estas innovadoras aplicaciones podrían remediarse sitios contaminados con petróleo, como corrientes y afluentes, al igual que suelos próximos a las zonas petroleras y que se encontraban afectados.

Con la utilización de microorganismos vivos se busca también reducir los porcentajes de azufre en gasolina y diesel, en un proyecto netamente mexicano que ubica al equipo científico que lo desarrolló en uno de los más importantes del mundo.

³⁴ LA MEJORA DE LOS COMBUSTIBLES. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 1999.



La biodesulfuración, o eliminación de azufre del petróleo utilizando microorganismos vivos, es un proceso en que, además del IMP, solo dos entidades en el mundo incursionaban, pues no resultaba atractivo comercialmente. Una de ellas era estadounidense, la que más avances registraba, al grado de haber creado una planta piloto, y por otro lado se encontraba un instituto japonés apoyado por el gobierno.

Los investigadores del proyecto tenían la tarea de diseñar las condiciones para que los microorganismos atacaran a toda la variedad de moléculas que contenían azufre. El proceso requería de agua y oxígeno y la parte ingenieril consistía en hacer que entraran en contacto el oxígeno (presente en el aire), los compuestos de azufre (en el petróleo) y los microorganismos.

Se tienen, también, avances considerables en la parte analítica de los compuestos. Por naturaleza existen microorganismos que pueden degradar componentes del petróleo, entonces la tarea que se plantearon era buscarlos y llevarlos a los laboratorios para estudiarlos; después escalar estas reacciones para poder llevarlo a la industria.

Para ello, de las zonas cercanas a las instalaciones petroleras se tomaban muestras de tierra de las que se aislaban las bacterias u hongos que degradaban los compuestos. Luego en el laboratorio se estudiaba de qué manera podían crecer y de cuantas formas realizaban su degradación. De igual forma se evaluaban los productos degradados, para saber si eran en menor o mayor medida tóxicos que los componentes de los combustibles.

Lo que se buscaba era restar los compuestos de azufre sin que se disminuyeran ciertas características del combustible, como el poder calorífico. Esta era la justificación de aplicar organismos vivos específicos, pues solo ellos podían hacerlo.

El equipo científico trabajaba, en julio de 1999, en la reducción de azufre en el diesel. Para ello, una vez refinado se le incorporaban las bacterias de manera



independiente o por medio de un soporte o sustancia que permitía su aceptación en el combustible. Además de facilitar el contacto de bacterias e hidrocarburo, debía suministrarse agua y oxígeno a fin de que ocurriera actividad biológica, para lo cual se preparaba un reactor en el que se mezclaban diesel, bacterias, agua y aire. En la emulsión obtenida la bacteria *halae* hizo uso de sus enzimas y separaba al azufre de la molécula orgánica, finalizando con la separación de los elementos que ya no le eran útiles --agua y oxígeno--, y así daba aprovechamiento al diesel con una menor cantidad de azufre.

Lo que los especialistas llaman el tiempo de residencia en los reactores cubría un periodo de varias horas, tiempo que se estima excesivo para los procesos industriales a los que se quería llegar, por lo que se buscó reducirlo probando una bacteria más activa.

PEMEX no escatimó en el apoyo económico, lo que ha permitido buscar a los mejores científicos del país y fuera de él.

Algunos problemas de contaminación también han encontrado solución en la biotecnología.

Esto no es nuevo, pues se conoce que desde hace varias décadas se emplean microorganismos para limpiar cuerpos de agua o como filtros de emisiones a la atmósfera.

El avance que se ha tenido, ha sido, en parte, en adaptar estas tecnologías a las condiciones del país, y hacerlo además en el área del petróleo mexicano.

La tecnología bajo el procedimiento de emplear microorganismos para limpiar, se conoce como biorremediación y en el mundo está teniendo cada vez más aplicaciones, pues con el uso de métodos biológicos puede darse una solución sin efectos secundarios y a costos considerablemente más bajos.



A solicitud de PEMEX las investigaciones del Instituto Mexicano del Petróleo, fueron abocadas a la contaminación por hidrocarburos (la contaminación de suelos podía ser suscitada por elementos como pesticidas o metales pesados).

En el mundo se habían implementado diversos métodos de descontaminación de suelos, siendo el más empleado el que se aplicaba técnicas fisicoquímicas, con la desventaja de ser muy costoso y que podía emplear mucho tiempo en ver resultados.

Por otra parte se encontraban las técnicas biológicas, o denominadas de biorremediación, (participación de organismos vivos), lo que se traducía en menores costos de inversión y con resultados y tiempos más alentadores. Una ventaja más frente al implemento de métodos fisicoquímicos era que la biorremediación era más "amigable" con el suelo a tratar, ya que no producía efectos secundarios.

Existen algunos microorganismos (bacterias) que tienen la capacidad de usar a los hidrocarburos contaminantes como fuente de carbono y energía, es decir, para alimentarse, y que una vez aprovechados son desechados en forma de CO₂ (bióxido de carbono) y agua.³⁵

Entre la tecnologías de biorremediación se contaba con la llamada bioaumentación, en la que al medio contaminado se adicionaban microorganismos (además de los que de manera natural contenían) con la capacidad de degradar los hidrocarburos existentes. Las bacterias podían ser autóctonas (de la misma microflora de la zona) y exógenas, es decir, que eran traídos de otro ecosistema y que se adaptaban a nuevas condiciones. Esta tecnología se llegaba a emplear cuando la microflora del suelo no tenía los elementos suficientes para degradar los contaminantes.

Bioestimulación, era una tecnología más empleada por científicos del mundo. En ésta se introducía al sistema (que también podía ser en un medio acuoso)

³⁵ Dr. Luis Carlos Fernández Linares. Investigador del programa de Biotecnología del Petróleo



nutrientes o fuentes de nitrógeno o fósforo necesarios para que el microorganismo activara su metabolismo. Esta técnica podía ser aplicada en combinación con la anterior.

Una más era la llamada bioventeo, que surge de una tecnología fisicoquímica denominada venteo, en la que se inyectaba oxígeno al suelo afectado y se arrastraba al contaminante hacia fuera. Aquí, las bacterias requerían de oxígeno (aerobias) para degradar a los contaminantes.

A su vez, la reconocida como fitorremediación era una de las tecnologías más innovadoras del mundo, y en la que con el uso de plantas verdes se efectuaba la biorremediación. Esta podía ser enfocada a compuestos orgánicos e inorgánicos.

En ambas, las plantas verdes absorbían los contaminantes, los mantenían en su estructura y los degradaban. En la misma clasificación se encontraba la fitovolatilización (también para compuestos orgánicos), donde la planta absorbía el contaminante, lo transportaba por su estructura y por medio de sus hojas lo volatilizaba.

Una más, y en la que un equipo de investigadores del IMP se ha enfocado, es la rizorremediación, donde no es precisamente la planta la que efectúa la biorremediación, sino sus raíces. La raíz excretaba enzimas, polisacáridos y demás nutrientes que aprovechaba la bacteria que degrada los hidrocarburos. Técnicas fuera del sitio

Los científicos también han experimentado con técnicas de biorremediación fuera del sitio afectado. De esta forma se origina la llamada composteo, en la cual se extrae una fracción de suelo contaminado y se le agrega materia orgánica como hojarasca, residuos de coco o caña, con lo que el suelo se convierte en poroso, aporta nutrientes y en ocasiones microflora.



En esta categoría se ubica también a los biorreactores. Aquí es donde intervienen los Ingenieros y sus Investigaciones, ya que se extrae una porción del suelo y se ubica en un sistema cerrado en donde se llevará a cabo la degradación. En este reactor se tiene control de temperatura, humedad, nutrientes, microorganismos y más.

En México, se realizan, desde 1993, experimentos de investigación en biorremediación, en distintas instituciones como las Universidades Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Autónoma Metropolitana (Unidad Iztapalapa), el CINVESTAV del IPN, además del IMP.

De esta manera, podemos observar que los avances en Ingeniería química, también han podido dar solución a los problemas de contaminación ambiental, usando microorganismos vivos y llevando estas reacciones a reactores, en donde se puede atacar los problemas controlando la temperatura, el oxígeno, la cantidad de nutrientes, etc.³⁶

En sistemas de refinación: la biotecnología se ha convertido en una opción para la reducción de azufre. A futuro, los avances en ingeniería genética volverán más prometedores los procesos de biodesulfuración (librar de azufre al petróleo a través de medios biológicos), y el diseño genético de microorganismos quizá permita eliminar metales y romper moléculas complejas para generar un crudo materia prima más *limpio* y fácil de procesar.

También, será posible imitar los procesos que lleva a cabo la naturaleza para transformar y construir moléculas a través de catalizadores orgánicos. La creación de enzimas sintéticas a fin de lograr la transformación de sustancias para lograr reacciones selectivas en los productos deseados con ventajas en rendimientos, menos problemas en las operaciones de separación y mejor economía operativa.

³⁶MICROORGANISMOS VERSUS PETRÓLEO. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Julio 1999.



Tratamientos naturales para desechos petroleros

Se realizan investigaciones que buscan la remoción de compuestos aromáticos; nitrogenados, básicamente amonio, así como compuestos azufrados: sulfuros y bióxido de azufre, presentes en los efluentes.

Se busca aplicar microorganismos de tipo anaerobio, es decir, aquellos que no emplean oxígeno en su metabolismo, porque operan con eficiencia ante altas y bajas concentraciones o *cargas* de efluentes y porque pueden adaptarse a procesos de limpieza en residuos de petróleo.

Los sistemas anaerobios que se han creado en la Universidad Autónoma Metropolitana plantel Iztapalapa (UAM-I) y en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México; de hecho ellos cuentan con procesos metanogénicos, tienen patentes de estos sistemas y están siendo empleados, por citar un ejemplo, en las cerveceras mexicanas. En cuanto a los procesos para remover azufre, también hay tecnología mexicana; se tienen patentes y están registrados por la UAM Iztapalapa para la compañía Cydsa, de Monterrey, la cual ha instalado reactores industriales que operan en Estados Unidos.³⁷

3.5 Ductos para transportamiento de petróleo. El problema de la corrosión en la industria petrolera.

En México, se dispersa por todo el territorio nacional una red de ductos de aproximadamente 54 mil kilómetros, por donde circulan desde el petróleo crudo hasta los productos refinados, como las gasolinas y el diesel.

A estos deben sumarse otros 2 mil kilómetros de tuberías que van por debajo del mar y que cumplen el mismo cometido.

³⁷ TRATAMIENTOS NATURALES PARA DESECHOS PETROLEROS. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Mayo 1999.



Las investigaciones y proyectos están ya en operación y se dirigen a solucionar los principales problemas por los que los ductos sufren fallas, es decir, incursionar en temas como corrosión, nuevos materiales, soldadura, mecánica de la fractura, así como confiabilidad y análisis de riesgos, detección de fugas, instrumentación y control.

Padecimientos de los ductos

Por dentro y por fuera, el ducto se enfrenta a condiciones que propician su corrosión, tal vez su principal problema. Pese a que el acero del que se fabrican está pensado para soportar condiciones corrosivas, los ductos contienen elementos al interior (como el sulfuro de hidrógeno) que degradan lentamente el metal.

Particularmente, las tuberías marinas enfrentan un problema más, ya que el mar es el hábitat de sepas bacterianas que solas o en consorcio forman colonias altamente corrosivas, que incluso puede llegar a perforar un ducto a una velocidad de un centímetro por año. En tierra hay también bacterias corrosivas con iguales consecuencias, a lo que debe añadirse que algunos suelos en que se entierran los ductos contienen elementos muy salinos que en igual medida son corrosivos.

Mantenimiento de los ductos.

Con una periodicidad de dos años, PEMEX realiza inspecciones de mantenimiento de los ductos en tierra. Así, en la evaluación de sus condiciones se emplean equipos muy avanzados llamados diablos instrumentados. Estos tienen forma cilíndrica y viajan por la tubería para registrar las posibles fracturas. De encontrarse éstas se procede a recubrir la tubería o en caso extremo a sustituirla en el tramo afectado.



Por otra parte, en ciertas condiciones ambientales los ductos cuentan con la denominada protección catódica, en la cual se emplean componentes que los protegen de corrosión. Entre otros métodos se inyecta corriente eléctrica al metal, al que se incorporan los llamados ánodos de sacrificio, es decir, los ductos son cubiertos por otro metal que sufrirá la corrosión inducida por la corriente eléctrica y dejará intacto el acero del ducto. El ánodo de sacrificio empleado en tierra es el magnesio, en tanto que el aluminio hará lo propio en mar.

Ahora bien, cuando la tubería está expuesta al aire, no se le da protección catódica, por lo que se usan recubrimientos. A su vez, las investigaciones en las regiones marinas ya han iniciado. En la sonda de Campeche (México), se tienen detectados problemas de corrosión microbiológica y salinidad, por lo que investigadores del IMP ha identificado a cerca de 20 cepas bacterianas distintas, causantes de corrosión. La cifra resulta sorprendente, ya que en otros lugares del mundo se identifican sólo una o dos sepas en una región, por lo que resulta muy importante el aporte mexicano.

También es interés del IMP estudiar la corrosión atmosférica, particularmente en las zonas industriales cercanas a las costas. Ahí, la mezcla del bióxido de azufre con los cloruros de la brisa marina deriva en una corrosión muy alta.

Otra área igualmente importante en investigación son las técnicas alternativas para medir el flujo de los hidrocarburos. Las técnicas tradicionales están contempladas para flujos homogéneos, por lo que actualmente resultan altamente imprecisas. Lo que se busca entonces es conocer las condiciones de la tubería a través de técnica tomográficas, donde a través de imágenes que reflejan las zonas de calor de los cuerpos, se identifican las partes del ducto en posible riesgo.³⁸

³⁸LOS CAMINOS DEL PETRÓLEO. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 2000.



El problema de la corrosión ataca a la mayoría de los metales y debilita su estructura, incluso, este fenómeno llega a poner en riesgo a sistemas completos de producción, como es el caso de las Industrias química y petrolera.

Especialistas de la unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-I) realizan investigaciones en torno a este tema, específicamente dentro del área de la corrosión en las refinerías de petróleo en la cual han desarrollado nuevos métodos para su estudio.

La corrosión es un proceso espontáneo que se presenta en los metales al entrar en contacto con el aire, agua u otros elementos. Lo que hace el óxido es volver al estado natural a los metales; por ejemplo, al acero lo transforma en óxido ferroso, que es como se encuentra en estado mineral. El principal objetivo del proyecto es encontrar métodos que inhiban la corrosión en los sistemas de petroquímica básica y catalítica y para ello utilizan como modelo la refinería Miguel Hidalgo.

PEMEX enfrentaba problemas al realizar las pruebas para medir las velocidades de corrosión en los ductos de la refinería; las estimaciones que obtenía variaban de una técnica a otra y en ocasiones cuando abrían los equipos de catálisis y los primarios detectaban que la corrosión era mayor a la que habían evaluado.

La UAM-I se involucró por su experiencia en el estudio, a través de corrientes eléctricas, de los procesos de formación de capas metálicas. La mayoría de los sistemas para medir la velocidad de corrosión en metales se fundamenta en procesos como la electroquímica, fluido eléctrico e impedancia.

Los investigadores de la UAM-I trabajaron en la refinería para aplicar sus métodos de medición y les ocurrió lo mismo que a sus colegas del IMP: los cálculos que obtenían eran dispares a lo que ocurría en los sistemas y a las lecturas de su contra parte. Ante ello se decidió utilizar otro tipo de pruebas



que ninguno de los equipos de investigación había aplicado y el resultado fue igual: las cifras no cotejaban.

La mayoría de las pruebas que existen para detectar la velocidad de corrosión miden sus efectos por agua, medio ambiente o en presencia de oxígeno. En cambio, las plantas petroquímicas operan en ambientes de ácido sulfhídrico, cianuro y amoníaco (medios amargos) que son muy agresivos al acero. Ante ello, la investigación requirió que se efectuara un estudio de cómo se forma la oxidación en estas condiciones, pues en la literatura científica son escasos los estudios al respecto y los conocidos no se pueden aplicar a las condiciones de operación de las plantas mexicanas de refinación.

La diferencia de corrosión en medios amargos es la siguiente: cuando un metal se oxida por agua o medio ambiente forma una película que en función de su grosor y porosidad puede protegerlo, como es el caso del aluminio. Ahora bien, en el caso de la petroquímica, el cianuro, ácido sulfhídrico y el amoníaco no forman óxido de hierro, sino sulfuro de hierro, provocándose simultáneamente ampollas en el metal que con el tiempo se agrieta y no se les pueden aplicar inhibidores convencionales.

El aporte que hasta el momento ha realizado la UAM-I es conocer y medir a cada paso cómo se origina la corrosión. Ello requirió el encontrar la forma de que sus estudios de laboratorio se pudieran aplicar a la industria pues no es lo mismo probar un metal en un tubo de ensaye que hacerlo en una planta.

Además se logró "congelar el proceso de corrosión" en cada una de sus etapas de formación para su estudio específico, pues la velocidad con que ocurre es muy rápida. Gracias a este nuevo método, los investigadores de la UAM conocen lo que realmente ocurre en el interior de las tuberías, lo que les posibilita probar inhibidores de corrosión en cada una de sus fases. ³⁹⁴⁰

³⁹ Doctor Ignacio González Martínez, Jefe del área de Electroquímica del Departamento de Química, UAM-I
⁴⁰ LA LESIVA CORROSIÓN EN LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA, Revista, Investigación y Desarrollo, Periodismo de Ciencia y Tecnología. Junio 2000.



3.6 Tecnología para destapar pozos petroleros.

En el IMP existe un grupo de trabajo que ha logrado pronosticar, luego de estudiar las características del comportamiento de fases de los crudos, cuándo podría taparse un pozo.

Las posibilidades que abre esta tecnología son muy amplias, pues permite tomar medidas de prevención para que el pozo continúe produciendo sin problemas, en contraposición de otros sistemas que sólo corrigen, de forma temporal, los problemas cuando el daño está hecho.

Este trabajo tiene por objetivo, estudiar materiales nuevos o ya conocidos, sus propiedades físicas, de transporte o de equilibrio, es decir, cómo estas sustancias al combinarse o bajo ciertas condiciones de operación generan un comportamiento de fases que puede utilizarse para generar nuevos procesos.⁴¹

Los asfaltenos: origen del problema

La producción de crudo en México, se lleva a cabo en pozos marinos o terrestres con profundidades de entre tres y seis kilómetros. El flujo a la superficie ocasiona que el hidrocarburo experimente cambios en presiones y temperaturas que van desde varios cientos de atmósferas y entre 125 y 150 grados centígrados, hasta condiciones semi-ambientales durante su proceso de producción.

Así, durante el proceso de producción, el hidrocarburo experimenta una serie de fenómenos fisicoquímicos complejos, debidos a los cambios en condiciones de operación. Estos generan una serie de fenómenos de fase (paso de líquido a sólido y a gas), con la correspondiente segregación y depositación de sus partículas más pesadas (en este caso los asfaltenos, parafinas y resinas), que tienen el más alto peso molecular.

⁴¹ **TECNOLOGÍA MEXICANA PARA DESTAPAR POZOS PETROLEROS.** Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Junio 2000.



Estas partículas se solidifican o floculan, pudiendo adherirse a las paredes de la roca almacenadora, a las paredes del pozo, o al equipo superficial de producción.

Con el paso del tiempo, se forman obturamientos que pueden afectar la rentabilidad del proceso, llegando a ocasionar pérdidas económicas por reparación, mantenimiento y producción diferida que pueden ser de considerable valor.

La vida productiva de un pozo oscila en alrededor de 30 años, tiempo en el que este problema se puede presentar en cualquier momento, En casos críticos, esto puede ocurrir incluso al momento en que se inicia su producción.

México cuenta actualmente con varios cientos de pozos productores, y si bien aquellos que presentan problemas por depositaciones orgánicas son definitivamente una minoría, debe considerarse que hay pozos que generan grandes cantidades del hidrocarburo, la aplicación de estas investigaciones es evitar que esto se presente en las zonas más productivas.

Hay casos típicos en pozos en los que cifras de producción se reducen hasta la mitad o menos, lo que se traduce en pérdidas anuales de varios millones de dólares por pozo.

En el IMP, el Dr. Carlos Lira Galeana, desarrolló un modelo matemático a través del cual se predicen los fenómenos de solidificación que le ocurren a un crudo cuando es sometido a cambios de composición, presión y temperatura.

Este tipo de modelos se usan para proveer una representación de los cambios de fase que por el flujo del crudo se experimentan en el hidrocarburo. Esta información se ajusta al comportamiento medido en el laboratorio. Después de un análisis e interpretación de resultados, se obtiene una herramienta para predecir el tiempo y el lugar en el yacimiento, pozo o instalación superficial de producción en donde ocurrirán dichos depósitos.



En éste método, se observan los comportamientos de los asfaltenos en el tiempo: al ver su historia y estudiarla, se entiende cómo se comportan y se sabe qué se puede esperar de ellos si se les baja la temperatura, se calientan o se les inyecta un gas. Esto último es muy importante, ya que una de las técnicas para producir aceite en yacimientos maduros es la inyección de gases miscibles o inmiscibles en la formación, lo cual, de no estudiarse previamente con investigaciones de laboratorio, puede acarrear la incompatibilidad del aceite y el gas y fomentar la precipitación.

Así, mientras las metodologías tradicionales sólo se dedican a remover los asfaltenos con sustancias químicas aplicadas *a posteriori* y con costos muy elevados, el sistema creado en el IMP ayuda a prevenir los taponamientos, generando un ahorro a través de la detección de las causas.

Este sistema ya se ha aplicado con éxito en pozos del sur de México y de la zona marina, frente de Campeche, con marcado éxito. "PEMEX ha hecho constar que el desarrollo y la aplicación del producto no sólo hizo recuperar los niveles de producción originales, sino que representa un ahorro al no gastar en otras metodologías y meter el *destapacaños*, que pueden tener un costo hasta de 700 mil dólares mensuales".⁴²

Tales resultados han abierto las puertas para este sistema pues, en 1997, tres compañías petroleras sudamericanas (de Venezuela, Brasil y Colombia) solicitaron al IMP su aplicación. En todos los casos se dieron óptimos resultados.⁴³

⁴² Dr. Carlos Lira Galeana, Coordinador del proyecto "Termodinámica de altas presiones". IMP

⁴³ TECNOLOGÍA MEXICANA PARA DESTAPAR POZOS PETROLEROS. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Junio 2000.



3.7 Simuladores de plantas reformadoras de naftas con regeneración continua de catalizador.

El Dr. Martín Hernández Luna, junto con su equipo de trabajo, ha desarrollado, en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, por medio de un convenio con Petróleos Mexicanos (PEMEX-REFINACIÓN) importantes avances tecnológicos en el área de la industria petrolera.

El simulador.

Consiste en un modelo fisicoquímico basado en la cinética de las principales reacciones catalíticas. Además de modelar los reactores catalíticos se elaboraron también modelos de equilibrio líquido-vapor para los principales equipos de separación y columna de rectificación del producto obtenido.

- * El simulador permite predecir con precisión el reformado producido y el número de octano del mismo.
- * Permite conocer también flujos y composiciones de algunas de las corrientes involucradas en el proceso tales como: hidrógeno producido, corrientes a la salida de los separadores, flujo de gas seco y LPG entre otras.
- * Con este instrumento es posible hacer una evaluación de la actividad que presenta el catalizador hacia la reformación y la desintegración en cada uno de los reactores.
- * El simulador permite calcular la influencia de las condiciones de operación sobre el funcionamiento de la planta para diferentes etapas de la vida del catalizador, y optimizar su desempeño dependiendo de la actividad que presenta.
- * Permite detectar inconsistencias en la información que en él se procesa.



* Por medio del uso periódico del programa y el análisis de resultados, es posible establecer un seguimiento del comportamiento del catalizador a lo largo del tiempo.⁴⁴

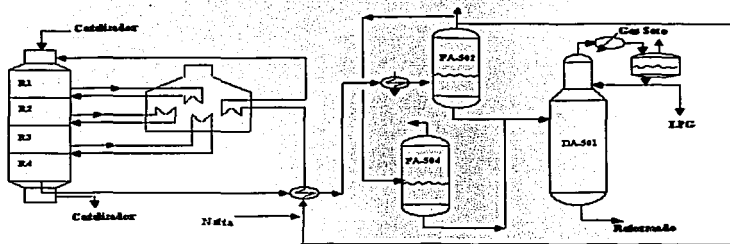


Fig. 8 Diagrama de proceso
Fuente: Datos proporcionados por el Dr. Martín Hernández Luna, Facultad de Química, UNAM

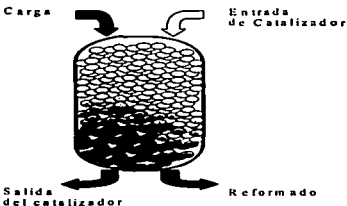


Fig. 9 CARBUNAM
Fuente: Datos proporcionados por el Dr. Martín Hernández Luna, Facultad de Química, UNAM

Los simuladores elaborados han mostrado ser un instrumento útil, que ha permitido aumentar la productividad en todas las plantas del sistema.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

⁴⁴ Información proporcionada por el Dr. Martín Hernández Luna, Facultad de Química, UNAM.

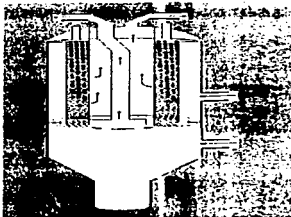


Fig. 10 REGEUNAM

Fuente: Datos proporcionados por el Dr. Martín Hernández Luna, Facultad de Química, UNAM

La contribución hecha, con base en la cinética del sistema catalítico, permite conocer nuevos aspectos del funcionamiento de la planta industrial.

Beneficio de la aplicación de los simuladores

- El aumento de la selectividad catalítica con la carbonización es inédita.
- El simulador hace un seguimiento de cada etapa del proceso que permite detectar fácilmente algún malfuncionamiento.
- El análisis de la operación del proceso con ayuda del simulador ofrece nuevas aportaciones tecnológicas.

Beneficios de aplicar modificaciones propuestas en diferentes refinerías. 1996-1998.

- En todos los casos presentados hay una disminución en la producción de gas combustible.
- Se presenta un aumento en los valores de B-O por día, por lo que se optimiza el uso de la materia prima.
- Se aumento la producción de LPG

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Se han desarrollado simuladores (REGEUNAM, REFUNAM, CARBUNAM) para distintas plantas, por mencionar algunas:

- planta reformadora CCR I de refinería Cadereyta
- planta reformadora CCR de refinería Minatitlán
- planta reformadora CCR I de refinería Salamanca
- planta reformadora CCR I de refinería de Tula
- planta reformadora CCR II de refinería de Tula
- planta reformadora CCR I de refinería de Salina Cruz
- planta reformadora CCR II de refinería de Salina Cruz
- planta reformadora CCR II de refinería Cadereyta
- planta reformadora CCR de refinería de Madero⁴⁵

⁴⁵ Datos proporcionados por el Dr. Martín Hernández Luna, Facultad de Química, UNAM.



CAPÍTULO 4

OTROS DESARROLLOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA

4.1 Importantes modificaciones para mejorar la operación, diversificar la producción y para procesar otras materias primas.

Otro avance tecnológico lo constituye el hecho de que aun cuando la ingeniería básica de las plantas petroquímicas era de procedencia externa, se habían realizado importantes modificaciones para mejorar la operación, para diversificar la producción y para procesar otras materias primas. Esto permitía afirmar que había buenas posibilidades de generar nuestra propia ingeniería básica, al menos para plantas de tecnología sencilla o medianamente complicada.

La operación de la primera planta tetramerizadora de propileno para producir detergentes se inició en 1961, en la refinería de Ciudad Madero, Tamaulipas, lo cual significó dar el primer paso en materia de industrialización petroquímica en México.

A fines de ese año se puso en funcionamiento la planta de amoniaco de Minatitlán, Veracruz. En 1962 comenzó a laborar la segunda planta de amoniaco, en la refinería de Salamanca.

La industria petroquímica, además de la disminución de manos extranjeras en el diseño y construcción de plantas, mostró un aumento progresivo de la capacidad de exportación de:

- Productos elaborados
- Servicios de construcción
- Servicios de ingeniería de detalle
- Ingeniería básica de procesos.

En este terreno se logró incluso exportar procesos a países avanzados.



La tecnología empleada en la construcción y manejo de las plantas petroquímicas había sido generada por países industrializados, los cuales resguardan sus intereses comerciales mediante la propiedad de las patentes de invención, mejoras y diseños, de estas importantes instalaciones industriales. Otra forma comúnmente utilizada para que estos países industriales se mantengan como dueños absolutos de la tecnología, es a través del dominio de una serie de informaciones técnicas confidenciales denominadas Know how.⁴⁶

4.2 Patentes concedidas por los diferentes países. Comercialización de los procesos.

Durante 1977, en el IMP, se encontraban avances tecnológicos, desarrollados por Ingenieros Químicos, para los cuales se habían solicitado 13 patentes, en 1978 se presentaron 9 solicitudes más.

Los autores de esos inventos, se encontraban trabajando en un programa de cuatro áreas:

- catalizadores
- procesos de refinación y petroquímica
- productos químicos y aditivos
- varios (Incluían equipos electrónicos y válvulas)

Se concedieron patentes por parte de: Italia, Israel, España, Nueva Zelanda, Australia, Estados Unidos, Argentina y Canadá; se tramitaban patentes en Francia, Japón, Brasil, Holanda, Canadá, Italia, Estados Unidos y Argentina.

España y Estados Unidos, concedieron patentes por el procedimiento para purificación de acetonitrilo, por tratarse de una de las tecnologías más originales y avanzadas, desarrolladas por los Ingenieros Químicos mexicanos, ésta purificación permitía obtener acetonitrilo con pureza del 99.5% peso a

⁴⁶ Etienne B., Guillermo, TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN EL SECTOR PETROQUÍMICO, Ciencia y Desarrollo, No. 8; México, mayo/junio 1976.



partir del acetonitrilo crudo que se obtenía como subproducto en las plantas de acrilonitrilo.

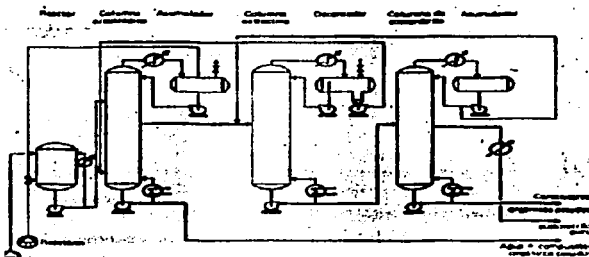


Fig. 11. Planta purificadora de acetonitrilo
Fuente: Ciencia y Desarrollo, CONACYT, 1979

Para 1978 la planta DEMEX ya estaba siendo comercializada en los Estados Unidos, Colombia y Arabia Saudita.⁴⁷

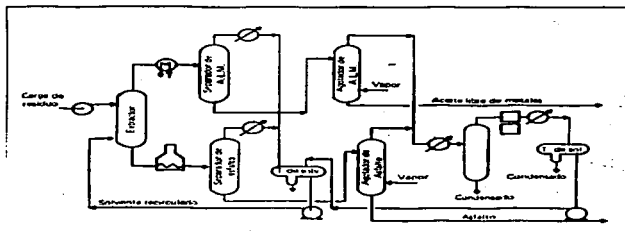


Fig. 12. Proceso DEMEX
Fuente: Ciencia y Desarrollo, CONACYT, 1979

⁴⁷ Ortúzar, Ximena; PATENTES DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO; Ciencia y Desarrollo, CONACYT, 1979, p. 99



4.3 Avances Tecnológicos en PEMEX (equipamiento de un laboratorio de investigación en emisiones vehiculares y ensayo de motores)

Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha buscado mantenerse a la altura de los avances tecnológicos del sector automotriz, para lo cual se apoyó en el respaldo científico que le otorga el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Ambas instituciones construyeron en 1989, en las instalaciones del IMP un laboratorio único en México dotado de un sistema altamente eficiente que evalúa los compuestos arrojados por los autos. Denominado Laboratorio de Investigación en Emisiones Vehiculares y Ensayo de Motores, en Diciembre de 1998, se le incorporó equipo muy sofisticado que permitiría efectuar novedosos estudios para nuevos combustibles y trabajar en la reformulación de los ya existentes.

El laboratorio tuvo una inversión de 20 millones de pesos, financiados por la alianza que forman el IMP y la subdirección Comercial de PEMEX-Refinación.

El equipo que se incorporó al Laboratorio de Investigación es mucho más sensible y con él se pueden medir emisiones de compuestos contaminantes y tóxicos en concentraciones mucho más pequeñas, lo que con no era posible con el anterior.

Otro ejemplo de la función del laboratorio es el de reformular las gasolinas existentes, para lo cual recibió el apoyo económico del Banco Mundial. El mayor éxito del proyecto en su primera etapa fue la eliminación del mercado de las gasolinas con plomo antes del año 2000, que era el tiempo previsto para lograrlo.

En el citado laboratorio de investigación se realizaron todas las pruebas para la verificación de que las nuevas gasolinas, que sustituyeran a aquellas con plomo, tuvieran un efecto benéfico para el medio ambiente.



Así, los esfuerzos que PEMEX realizaba para mejorar o modificar sus gasolinas se veían altamente apoyados por el soporte de la información de alta calidad que el Laboratorio de Investigación proporcionaba.

La tendencia era sustituir la gasolina por otros carburantes alternos a solicitud de PEMEX, por lo tanto, los científicos del laboratorio efectuaron estudios con gas natural y LP para uso automotriz, entre otras alternativas energéticas. La ventaja que éstos presentaban era que son carburantes más limpios, que generan menos contaminantes, por lo que significaban una gran alternativa.

Parte del nuevo equipo del laboratorio, se ubicaba en el área de Ensayo de Motores, donde se disponía de dos celdas con dinamómetros de banco de 300 y 450 caballos de fuerza para realizar pruebas aceleradas de comportamiento, combustibles y sistemas de emisiones. Por otra parte, para la caracterización completa de los combustibles se contaba además con máquinas que determinaban el número de octano en gasolina y de cetanos en diesel.⁴⁸

4.4 Desarrollo de combustibles alternos

Se realiza investigación en el IMP para desarrollar combustibles alternos que reducirán las emisiones contaminantes en México producto de la combustión de diversos combustibles orgánicos e inorgánicos.

Entre los proyectos científicos y tecnológicos del Grupo de Combustión del IMP, se encuentra el diseño de combustibles alternos a partir de residuos de la refinación bajo la forma de una emulsión: mezcla de combustible y agua.

Existen dos tipos fundamentales de emulsiones: una donde el combustible se halla finamente disperso (en forma de gotitas) en el agua y que se les conoce con el nombre de aceite en agua, y otra en la que el agua está en forma de gotitas dispersa en el aceite, y que es del tipo agua en aceite. Por medio de estos combustibles el proceso de combustión se hace más eficiente y las

⁴⁸ EL NUEVO LABORATORIO DE EMISIONES VEHICULARES DEL IMP. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 1999.



emisiones menos contaminantes, ya que en el primer caso, el combustible ya está granulado y listo para su combustión, y en el segundo caso, porque al inyectar la emulsión en el quemador, las gotitas de agua se evaporan súbitamente provocando la atomización del combustible. En ambos casos, hay una reducción notable de partículas parcialmente quemadas y de óxidos de nitrógeno.

Otro de los retos a los que se enfrenta el Grupo de Combustión, es la degradación de los materiales que constituyen los hornos, calderas e incineradores, y que es causada por las altas temperaturas y ambientes corrosivos.

Ante esa situación, los investigadores del IMP están investigando el uso de inhibidores y de materiales altamente resistentes a la corrosión. Algunos de los elementos que se añaden a los materiales ya establecidos son: aluminio, molibdeno, cromo y silicio. Además se probarán y en su caso desarrollarán aleaciones con mejores estructuras metalográficas a fin de mantener los materiales durante largos plazos de operación sin que se dañen.

El grupo de investigación se preocupa por el incremento en la eficiencia de los sistemas de combustión y al mismo tiempo en disminuir las emisiones contaminantes. Su reto principal es en materia de ambiente.⁴⁹

4.5 Venta de tecnología en el área de petróleo.

Una de las labores en el Instituto es vender tecnología y servicios fuera de México sin dejar de atender a PEMEX.

El IMP ha sido participe de importantes proyectos, como el incremento en la capacidad de un oleoducto que atravesaba Ecuador, la construcción de un gasoducto que transportaba hidrocarburo del norte de Argentina a Brasil, y de tres plantas petrolera en España, entre otros igualmente importantes.

⁴⁹ INVESTIGADORES DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO DESARROLLAN COMBUSTIBLES ALTERNOS. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Junio 2000.



Algunos países latinoamericanos productores del energético han recurrido al Instituto Mexicano del Petróleo en busca de dar solución a problemas como adquisición de tecnología para la generación de productos, capacitación de personal y estudios de evaluación, entre otros.

En 1994 la empresa ecuatoriana licitó un contrato de caracterización de yacimientos, mismo que ganó el IMP en un concurso abierto a todo el mundo. Lo que hicieron los Ingenieros fue determinar el volumen de hidrocarburo que contenía un yacimiento susceptible de explotación, su dimensión, sus características de formación de hidrocarburo, es decir, se proporcionó toda la información que se necesita para saber si es conveniente perforar un yacimiento y que esto no signifique un riesgo en la inversión. Igualmente, al ganar un concurso se obtuvo el contrato para llevar a cabo un estudio de evaluación de sus crudos, debido a que los exportan en esa condición.

A esa misma empresa, investigadores del IMP realizaron en 1997 estudios de Ingeniería para incrementar la capacidad de transporte de crudo del sistema llamado Oleoducto Transecuatorial, el único que traslada el hidrocarburo de los campos del oriente ecuatoriano a la refinería y luego a la costa para su exportación. El transporte es de difícil operación: se inicia desde una población ubicada casi al nivel del mar, desde donde se lleva a una estación a casi 4 mil metros de altura y luego vuelve a bajar hacia la costa. Una falla o un deterioro de la infraestructura podrían causar una catástrofe nacional, por lo que su mantenimiento debe ser impecable.

A este proyecto se llegó en colaboración con la compañía argentina Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), con la que también se trabajó en otros modelos de Ingeniería. Uno de ellos fue el proyecto NEUBA II, que en 1993, consistió en la construcción de un gasoducto muy importante en Argentina. Durante el invierno el consumo de gas es muy alto en Buenos Aires y el abasto no cubre las necesidades de la ciudad. Por ello se buscó transportar el



energético desde la provincia de Neuquén, en los Andes, en un trayecto que prácticamente atraviesa el país.

La propia YPF argentina invitó a participar a los ingenieros especialistas del IMP en la elaboración de estudios de factibilidad para la construcción de un gasoducto que respaldara al ya existente. El nuevo gasoducto parte del norte de Argentina, cruza parte de Paraguay y Bolivia y culmina en Brasil. Por otra parte, en 1997 funcionarios de la ciudad de Buenos Aires se entrevistaron con las autoridades del IMP con la intención de conocer e implementar modelos para evaluar la calidad del aire en aquella ciudad, siguiendo el modelo desarrollado en el Distrito Federal.

Las exportaciones del IMP tocan también el Caribe. Así, en Trinidad y Tobago se implementó con éxito tecnología mexicana para la limpieza de los tanques de almacenamiento. Los hidrocarburos generan asentamientos en el fondo del tanque que son difíciles de eliminar y que paulatinamente ocupan espacio que puede ser destinado al energético. Para desalojar los residuos, en el IMP se generaron químicos que aplicados junto a intenso calor disuelven el producto y éste se extrae por bombeo. Esta tecnología mexicana tuvo un importante éxito en aquel país, de donde se logró desalojar el sedimento y se volvió a dar utilidad al tanque.

En Paraguay se refinan 15 mil barriles diarios, sin embargo buscan ampliar su refinería. Fue así que especialistas del IMP realizaron un estudio que permitía conocer cuáles serían las condiciones para efectuar la ampliación en los años siguientes.

Por otra parte, en Perú el Instituto participó en la licitación para la construcción de instalaciones de almacenamiento en plena región selvática, en sociedad con una empresa constructora peruana, de donde se transporta crudo como energético hasta una planta generadora de energía eléctrica.



Por otro lado, PEMEX como socio accionario de la empresa española PetroNor, en Bilbao, España, promovió la participación del IMP para la ampliación de una refinería y la instalación de tres plantas petroleras. Asimismo, se trabajó en colaboración con otra empresa mexicana en Argelia y Egipto para realizar ingeniería petrolera.⁵⁰

4.6 Tratamiento de crudo Maya.

De los 3.07 millones de barriles diarios de petróleo que se extrajeron en promedio, de territorio mexicano, a lo largo de 1998, el catalogado como crudo Maya fue el que más contribuyó a las reservas con 1.6 millones de barriles por día (el 52 por ciento). Pese a ser catalogado como crudo pesado, lo que dificulta su refinamiento, significó para Petróleos Mexicanos (PEMEX) el 61 por ciento de las exportaciones de ese año y el 34 por ciento de crudo procesado en su sistema de refinerías.

La importancia del crudo Maya para PEMEX es clara, que no conforme con los buenos resultados de 1998 buscaba incrementarlos hacia los próximos años.

De esta forma, se puso en marcha el Programa de Tratamiento de Crudo Maya, el cual va orientado a tres áreas en específico: Procesos, Catalizadores, así como Simulación y Optimización en la operación de plantas.

Extraído desde 1980 de la denominada sonda de Campeche, en el Golfo de México, el crudo Maya es catalogado como pesado debido a su alto contenido de azufre, metales y asfaltenos, además de que su viscosidad no es precisamente baja, como sí lo es su rendimiento de fracciones ligeras en el momento de la destilación. De esta forma, los objetivos de establecer estos proyectos de investigación eran: facilitar su refinamiento en México, además incrementar su valor en el mercado internacional y mitigar su alto contenido de azufre que se refleja en los combustibles derivados a partir de él.

⁵⁰ LAS EXPORTACIONES TECNOLÓGICAS DEL IMP. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Diciembre 1998.



Los proyectos que se mencionan a continuación, se llevaron a cabo en el IMP, con la participación de Ingenieros Químicos interesados en el mejoramiento y en el tratamiento del crudo Maya.⁵¹

(Abril 1999)

Reducción de azufre en gasolina

Reducción de azufre en diesel

Proceso FCC Sistemas catalíticos FCC

Simulación y optimización de procesos de hidrotratamiento de destilados

Características de comportamiento en la refinación de crudo Maya

Agotamiento con hidrógeno y destilación reactiva de crudo

Producción de crudo sintético por hidrotratamiento de crudo Maya

(Agosto 1999)

Producción de gasolinas de alto octano a partir de olefinas ligeras

Sistemas catalíticos novedosos para el proceso de reformación de naftas

Si se continúa trabajando, se tendrán avances en nuevas tecnologías para el pretratamiento de crudos: el ultrasonido y las microondas.

El ultrasonido podrá emplearse para eliminar moléculas no deseadas en el petróleo (como las de azufre y metales), pues a través de energía mecánica de vibración provoca condiciones de alta presión y temperatura que pudieran romper las uniones moleculares.

A su vez, las microondas, una energía electromagnética de onda corta, permitirían concentrar energía en sitios particulares de un sistema para lograr esa descomposición molecular.

⁵¹ EL MEXICANÍSIMO PETRÓLEO MAYA. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 2000.



En el terreno de la nanotecnología o diseño de estructuras moleculares, como herramienta para la separación y reacción catalítica. Los avances en esta materia ayudarán a promover los ensambles deseados en diseños particulares de materiales catalíticos con mejores propiedades de actividad, selectividad, resistencia mecánica y facilidad de regeneración.⁵²

⁵² Maestro Julián Castellanos Fernández. Experto del Instituto Mexicano del Petróleo. Ponencia: "La refinería del futuro". Primera Conferencia Internacional sobre Biotecnología del Petróleo.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la educación, el material humano de calidad es lo único que puede asegurar un desarrollo armónico, un alto nivel de estudios y una vida profesional plena, productiva y creativa. Pero de nada servirá mejorar la cantidad y calidad de los profesionales si no se imbuye en ellos la idea de que no puede haber futuro en la industria química si no se le da más importancia al desarrollo en ciencia y tecnología.

La industria química está hoy en crisis porque no es competitiva, y no lo es por el hecho de que carece de una tecnología de punta. Los esfuerzos de investigación y desarrollo en la industria química dan por resultado, entre otras cosas, procesos para la fabricación eficiente de productos químicos.

En la industria petrolera, es poca la tecnología que se crea para uso propio, se dedica más a la compra de tecnologías externas, que luego adapta a las condiciones de operación en el país, lo cual debilita su competitividad mundial.

La investigación y el desarrollo tecnológico, son la seguridad de un mañana para la industria petrolera; es por eso que en éste trabajo se mostró el interés por destacar los logros en este campo, así como la participación de los ingenieros químicos en el desarrollo del sector.

Con este trabajo se demostró que el ingeniero químico, tan sólo en la industria petrolera, cuenta con distintas áreas en las que se puede innovar y hacer que el país progrese y demuestre un cambio significativo.

El petróleo es, sin duda, un elemento significativo y clave para comprender a los siglos XX y XXI. De él se obtienen combustibles, sustancias para fabricar medicinas, fertilizantes, alimentos, plásticos, pinturas y textiles, es decir, productos básicos en los que empresas o individuos sustentan sus actividades.



Sin embargo, la industria petrolera se enfrenta a nuevas exigencias, se encuentra condicionada por un panorama global que va cambiando y evolucionando al paso del tiempo y de una manera rápida y cambiante: es por eso que ésta industria, debe optimizar recursos, mejorar sus sistemas productivos, reducir emisiones contaminantes y crear productos amables con el ambiente. En este proceso, la interacción del pensamiento evolutivo, con la investigación científica y el desarrollo tecnológico es imprescindible.

Al hacer el estudio, se demostró que México ha progresado de manera satisfactoria en éste sector; los beneficios y las aplicaciones que se han obtenido de las investigaciones realizadas y los logros que se han tenido en cuando a la venta de tecnología a diferentes países.

Los esfuerzos de la Industria petrolera han sido significativos, de tal manera que el sector ha podido enfrentar con éxito el reto de la competencia internacional.

La industria petrolera se ha caracterizado a través del tiempo por su gran dinámica, al promover la interacción de un gran número de ramas y actividades económicas, es por eso que se requiere de la participación de las distintas Universidades e Institutos para lograr un avance significativo en esta área.

El crecimiento de las actividades petroleras y de otros campos tecnológicos diferentes originó que además se realizaran investigaciones relacionadas con dispositivos mecánicos y eléctricos para la operación de plantas industriales, exploración, extracción y refinación de hidrocarburos, así como de aceites lubricantes, polímeros y productos anticorrosivos; también ayudó a incursionar en nuevos terrenos como lo es la biotecnología de los hidrocarburos.

Los investigadores se han dedicado al desarrollo de procesos y productos químicos, petroquímicos y de refinación, aditivos para incrementar características (detergencia, estabilidad, etc.) en algunos combustibles que no



cuentan con ellas, mezclas de diversos compuestos y catalizadores, así como equipos y aparatos.

Si en nuestro país se puede realizar investigación y desarrollar tecnología de punta, se puede ser más independiente de la tecnología de otros países y del mismo modo, se puede volver más competitivo en este sector si se crean posibilidades de generar nuestra propia ingeniería básica.

En este trabajo, sólo se citan algunos casos, pero cabe mencionar que tanto en la Universidad Nacional Autónoma de México, como en la Universidad Autónoma Metropolitana y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, se realizan diferentes proyectos de investigación financiados por Petróleos Mexicanos, o se brindan diferentes servicios de investigaciones para el Instituto Mexicano del Petróleo; esto con el fin de contribuir al desarrollo tecnológico del país.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



BIBLIOGRAFÍA

Bunge Mario; LA CIENCIA, SU MÉTODO Y SU FILOSOFÍA. Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires, 1988.

Buró, Andrea. EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO EXPORTA TECNOLOGÍA; Ciencia y Desarrollo. CONACYT, 1978.

CATALIZADORES DESARROLLADOS EN MÉXICO. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Junio 2000.

Semblanza del Maestro Agráz por Diáguez Agraz de Rojo, María Josefina, Rojo y de Regil, Eduardo. JUAN SALVADOR AGRÁZ (1881-1949). FUNDADOR DE LA PRIMERA ESCUELA DE QUÍMICA EN MÉXICO. UNAM.

EL MEXICANÍSIMO PETRÓLEO MAYA. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 2000.

EL NUEVO LABORATORIO DE EMISIONES VEHICULARES DEL IMP. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 1999.

Etienne B., Guillermo, TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN EL SECTOR PETROQUÍMICO, Ciencia y Desarrollo, No. 8; México, mayo/junio 1976.

Garritz, Andoni, QUÍMICA EN MÉXICO: AYER, HOY Y MAÑANA, Fac. de Química, UNAM, México, 1991.

Hernández-Luna, M., PROPUESTA CURRICULAR PARA LA CARRERA DE INGENIERO QUÍMICO, Facultad de Química, UNAM, 1987.

INVESTIGADORES DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO DESARROLLAN COMBUSTIBLES ALTERNOS. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Junio 2000.

Jorge A. Sabato y Michael Mackenzie; LA PRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍA - Editorial Nueva Imagen, México, 1982.

LA LESIVA CORROSIÓN EN LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Junio 2000.

LA MEJORA DE LOS COMBUSTIBLES. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 1999.

LAS EXPORTACIONES TECNOLÓGICAS DEL IMP. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Diciembre 1998.

Linarte Lazcano, Ricardo, Shifter, Isaac; CATÁLISIS CON ENTIDADES ACTIVAS SOPORTADAS QUÍMICAMENTE; Ciencia y Desarrollo, No. 7; México; Marzo /Abril 1976.



LOS CAMINOS DEL PETRÓLEO. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Enero 2000.

Maestro Julián Castellanos Fernández. Experto del Instituto Mexicano del Petróleo. Ponencia: "La refinería del futuro". Primera Conferencia Internacional sobre Biotecnología del Petróleo.

MICROORGANISMOS VERSUS PETRÓLEO. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Julio 1999.

Ortúzar, Ximena; PATENTES DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO; Ciencia y Desarrollo, CONACYT, 1979.

TECNOLOGÍA MEXICANA PARA DESTAPAR POZOS PETROLEROS. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Junio 2000.

Trabulse Elías, LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MÉXICO, Historia Temática, México, 1990.

TRATAMIENTOS NATURALES PARA DESECHOS PETROLEROS. Revista, Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. Mayo 1999.

Valiente-Barderas, Antonio, LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN MÉXICO, Para quitarle el polvo, Educación Química. Enero 1996.