

10  
24



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"

UN MODELO DE OPTIMIZACION PRODUCTIVA PARA  
LA INDUSTRIA PETROQUIMICA BASICA  
(1980 - 1987)

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
LICENCIADO EN ECONOMIA  
p r e s e n t a n

María del Carmen Guerrero Martínez  
Flavio Martín Lomeli Montiel

TECIS CON  
FALTA DE ORIGEN

Acatlán, Méx.



1990



## **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 está 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.

# I N D I C E

pág.

## INTRODUCCION

### I. \_ ESTRUCTURA Y COMFORTAMIENTO DE LA INDUSTRIA PETROQUIMICA BASICA EN MEXICO, 1950 - 1980.

1. Reseña Histórica. . . . . 1
2. Evolución de la Industria Petroquímica  
Básica, 1950 - 1980 . . . . . 5
3. Comportamiento de la Industria Petroquímica  
Básica: Políticas y Programas . . . . . 17
4. Estructura Productiva . . . . . 26

### II. \_ INTERDEPENDENCIA DE LA INDUSTRIA PETROQUIMICA BASICA EN MEXICO, 1980 - 1987.

1. Antecedentes. . . . . 37
2. Comportamiento de la Economía y participación  
de la Petroquímica Básica en el Producto  
Interno Bruto, y en los sectores Industrial y  
Manufacturero . . . . . 39

## III. \_ MODELO DE PROGRAMACION LINEAL

|  |    |
|--|----|
| 1. Construcción del Modelo . . . . .   | 77 |
| 2. Metodología de Análisis de los Datos para el Modelo . . . . .   | 82 |
| 3. Formulación y Definición de los Parametros Estructurales . . . . .  | 86 |
| 4. Formulación de la Función Objetivo . . . . .  | 88 |
| 5. Restricciones del Modelo . . . . .  | 90 |
| 6. Representación Matemática del Modelo de Programación Lineal para la Industria Petroquímica Básica . . . . . | 92 |

## IV. \_ PLANEACION Y DESARROLLO.

|                           |    |
|---------------------------|----|
| Solución Básica . . . . . | 98 |
|---------------------------|----|

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

APENDICE A

APENDICE B

## INTRODUCCION

La industria petroquímica básica en México desarrolló con mayor fuerza su producción, durante el modelo de sustitución de importaciones que se puso en operación en la década de los 70's. La principal causa que llevó a esta industria a dejar de importar algunos productos fue el alto costo de estos, el Estado estaba interesado en apoyar a los sectores productivos de los que destacaba la industria petroquímica básica, la cual contaba con grandes expectativas futuras y por lo tanto habría la posibilidad de que tuviera una participación activa dentro del crecimiento económico.

De esta manera el acelerado crecimiento de la economía y la penetración y la diversificación de los mercados --tanto internos como externos-- para productos petroquímicos originaron un incremento en la demanda y una elevación en el nivel de las exportaciones, dándole a esta industria un carácter estratégico dentro de nuestra economía, al surgir la necesidad de obtener productos sintéticos que reemplazarán a los productos naturales (difíciles de conseguir) como insumos para la industria de la transformación. La petroquímica básica posee la característica de proporcionar dichos productos aplicables al potencial productivo a la vez que cuenta con una significativa capacidad para dar valor agregado a los derivados del petróleo.

Por tal motivo es nuestra intención realizar una investigación cuyos objetivos son: por una lado analizar la participación que ha tenido la petroquímica básica dentro de nuestra economía y de los sectores industrial y manufacturero a través del Producto Interno Bruto (PIB) en el periodo 1980-1987, así como construir un modelo de optimización para diseñar un programa de desarrollo para Pemex enfocado a maximizar las ventas de productos petroquímicos.

En nuestra investigación los dos primeros capítulos están elaborados bajo las características de un análisis de tipo estructuralista. En el capítulo I se presenta la evolución y la estructura productiva de la petroquímica básica, ya que el uso directo de sus productos dentro de la industria se hace cada vez más necesario por lo que se ha hecho indispensable el desarrollo tecnológico y para la ampliación de su capacidad productiva al mismo tiempo que el Estado ha jugado un papel cada vez más importante como promotor de su desarrollo. Conociendo el campo de acción que ha tenido esa industria en cuanto a infraestructura, producción y comercialización.

Podemos visualizar su participación en la economía no sólo por su contribución en el PIB sino también por su interrelación con el sector industrial y manufacturero, ya que estos sectores demandan cierta cantidad de petroquímicos básicos, esto se analiza en el capítulo II, donde se calculó el índice de productividad, la capacidad instalada y utilizada, el consumo aparente, así como la relación entre importaciones y exportaciones de estos productos.

En el capítulo III podemos afirmar que la construcción del modelo es en cierto grado el aporte sustantivo de nuestra investigación y por otro lado que forma parte de un conjunto de investigaciones que pretenden la optimización de recursos escasos por medio de su planeación económica. En el se presentan las interrelaciones existentes entre las diferentes materias primas; así como las interrelaciones entre los productos elaborados y el consumo de los mismos.

De acuerdo al tipo de variables y valores que manejamos para la resolución de nuestro problema utilizamos la técnica de programación lineal llamada LINDO (ver apéndice B) donde se presentan las características de cada una de las partes que forman el modelo, así mismo se formuló la construcción de cada una de ellas con el fin de hacer más profundo este análisis. Se presentan en el capítulo IV la solución del modelo y sus variaciones cualitativas y cuantitativas.

Esperamos obtener resultados de un modelo básico con el cual se tenga la posibilidad de mejorar la asignación de recursos y fortalecer la planeación económica de la industria petroquímica básica.

C A P I T U L O    I

ESTRUCTURA Y COMPORTAMIENTO DE LA INDUSTRIA

PETROQUIMICA BASICA EN MEXICO, 1950 - 1980

## 1. RESEÑA HISTORICA

El descubrimiento de extensos y ricos yacimientos de petróleo y gas natural influyeron notablemente en la evolución del proceso productivo de los países industrializados, al emplearse los hidrocarburos como insumos y materia prima para la elaboración de diversos productos.

Entre los acontecimientos y avances más destacados del siglo XX en materia industrial se encuentra el surgimiento de la petroquímica, con la utilización de materiales obtenidos en cantidades pequeñas, como subproductos de la rudimentaria refinación de petróleo y gas natural. Se entiende por petroquímica a la "actividad industrial que consiste en la realización de procesos químicos o físicos para la elaboración de compuestos a partir, total o parcialmente, de hidrocarburos naturales de petróleo o de hidrocarburos que son producto o subproducto de las operaciones de refinación".<sup>1/</sup> Esta actividad proporciona productos y materias primas a la industria de la transformación.

Históricamente "la petroquímica se inicia en la segunda década de este siglo cuando algunas compañías químicas como: Dupon, Toon & Hass, ICI, y otras, descubrieron sustitutos de

---

<sup>1/</sup> SPP et. al., "Industria Petroquímica. Análisis y expectativas". México, SPP, 1981, pp. 21.

algunos productos naturales como algodón, seda, hueso, etc., mediante la transformación de ciertas materias de origen eminentemente petroquímico, tales como el ciclohexano, el formaldehído, el metil y otros". 2/

El descubrimiento de una gran cantidad de productos sintéticos sustitutos de productos naturales, entre los que se encuentran los elastómeros, los recubrimientos y adhesivos, plásticos, fibras sintéticas y los plaguicidas, trajo consigo el desarrollo de instalaciones de proceso de derivados del petróleo crudo y gas natural, para generar petroquímicos utilizables como materia prima de otros productos de uso final, configurándose así un tipo de infraestructura productiva típica de estas empresas. 3/

Los productos de la petroquímica básica constituyen a su vez los insumos tanto de la petroquímica secundaria, como de otras industrias, lo que le da un carácter estratégico dentro del proceso productivo del país. Este no sólo radica en la contribución que realiza a la inversión y al Producto Interno Bruto, sino, a su potencial para aprovechar y transformar la reserva de hidrocarburos, exportar en el mediano plazo y producir insumos y productos estratégicos cuyo uso directo e indirecto se extiende desde las actividades primarias ( agricultura ), hasta las más avanzadas (bienes de capital y electrónica).

---

2/ Angeles, Luis. "La Industria Petroquímica Mexicana en la Dinámica Internacional". CIDE, México, pp. 165

3/ Ibid.

La petroquímica básica utiliza petróleo crudo y gas natural para la elaboración de un amplio espectro de productos, estos están constituidos fundamentalmente por diversos compuestos de carbono y de hidrógeno (el porcentaje en que se encuentran ambos elementos varía entre el 85 y el 90% de carbono, y entre el 10 y 14% de hidrógeno, a los cuales se añaden a veces azufre entre un 0.2% y un 4%, nitrógeno generalmente menos de 0.1% y oxígeno hasta en un 1.5%), que al ser tratados químicamente mediante los procesos de oxidación, clorhinación y sulfuración dan como resultado la obtención de los principales productos petroquímicos con una reactividad química elevada, denominados productos de base o productos petroquímicos de primera generación 4/ y que se agrupan en cinco categorías principales:

- 1) Derivados del Gas Natural
- 2) Derivados del Etileno
- 3) Derivados del Propileno
- 4) Derivados del Butadieno y
- 5) Productos Aromáticos.

Entre los derivados del Gas Natural sobresalen el amoníaco y el metanol. El amoníaco se utiliza como materia prima para la industria de fertilizantes y medicamentos. El metanol se destina al mercado de los plásticos, perfumes y pinturas. Entre los

---

4/ SSP, "La Industria Petroquímica en México", 1981, y Leonor Azcárate, "La Industria Petroquímica Mexicana", Información Científica y tecnológica. Vol. 5. Núm. 82. CONACYT, México, julio de 1983.

derivados del Etileno, el acetaldehído que se emplea como insumo intermedio para la elaboración de fibras sintéticas, pinturas, solventes, plásticos, etc.; el cloruro de vinilo en plásticos y películas; el etilbenceno para producir estireno (otro petroquímico) y plásticos; los polietilenos alta y baja densidad empleados sobre todo en la industria plástica. Los derivados del Propileno están constituidos por el acetonitrilo, el dodecibenceno, el tetrámero, que se emplean en la industria de detergentes y como agentes tensoactivos), y el polipropileno e isopropanol entre otros. El butadieno como derivado del Butano-Butilenos se emplea en la industria del hule y latex, es materia prima para el hule polibutadieno y resinas ABC. Y por último los derivados de las naftas constituyen el grupo de los Aromaticos; entre estos sobresalen el benceno, el tolueno, el estireno, los xilenos, etc. y que se destinan sobre todo a las industrias de plásticos y resinas sintéticas ( ver apéndice cuadro 1.1. ).

La recomposición industrial de México en los años sesentas estuvo influenciada por la industria petroquímica y de refinación debido a la complejidad y nivel tecnológico de su estructura productiva, mismas que mostraron una participación creciente sobre el valor agregado y cobraron preeminencia en los años 70's como consecuencia de los importantes hallazgos petroleros y del aumento de la demanda interna que propició la sustitución de importaciones de productos finales. 5/

-----  
5/ Véase Luis Angeles, op. cit.

A continuación realizaremos un balance de la evolución de la industria petroquímica en nuestro país de 1950 a 1980, para comprender mejor su participación y comportamiento dentro de la economía nacional elaboraremos un análisis histórico de la misma.

## 2. EVOLUCION DE LA INDUSTRIA PETROQUIMICA BASICA 1960-1970

México, fué uno de los primeros países en vías de desarrollo en adoptar y promover la industria petroquímica básica en América Latina. Pero a pesar de la importante actividad petrolera en nuestro país desde principios de siglo esta, industria fué prácticamente inexistente hasta la década de los años cincuenta. Se inicia alrededor de 1951 al ponerse en operación una planta de azufre en Poza Rica, Ver., cuya materia prima se obtenía por medio de la recuperación del ácido sulfhídrico del gas natural.

Esta empresa funcionó en un momento de escasez de azufre en el mercado mundial, el cual se cotizaba a un precio muy elevado, pero debido a la poca productividad de la misma, este producto se destinó al mercado interno a precios subsidiados e incluso una parte de la misma se entregó gratuitamente --durante tres años-- a la empresa estatal Guamos y Fertilizantes de México, S. A. (Guanomex), para fomentar el desarrollo de la industria de fertilizantes y de esta manera el de la agricultura, también se subsidió la producción de amoníaco y sulfato de amonio.

Para 1959 se construyó una planta de dodecibenceno --insumo para la industria de detergentes--, localizada en la refinería de Azcapotzalco en el D.F.. Aún así al finalizar los años 50's solamente se producían insumos básicos, como el etano, el

propano, el butano y el isobutano sin llegar a su transformación. 6/

En esta época se manifestó un desarrollo lento de la industria petroquímica debido a la influencia de diversas causas, entre las que destacan:

-- La problemática situación financiera de la empresa hasta 1958, que obstaculizó la construcción de importantes plantas petroquímicas programadas, en particular las de fertilizantes, las de polietileno y las de detergentes.

-- El desconocimiento total en la medida en que la petroquímica básica, se incluyera dentro de las actividades de Pemex, o se dejaría en manos de la iniciativa privada, que postergó la ejecución de los proyectos.

-- La incertidumbre respecto a la política de precios para los insumos primarios elaborados por Pemex, que afectarían los costos de producción de determinados derivados.

-- Las "barreras al ingreso", factores inherentes a esta industria: Elevados niveles de inversión, fuerte dinamismo tecnológico y escalas mínimas de producción, entre otras.

De esta manera la creciente importancia de los hidrocarburos como fuente de materias primas, la conveniencia de sustituir las importaciones de productos petroquímicos, y el marcado interés de varias empresas químicas trasnacionales en obtener las concesiones necesarias para la transformación de los hidrocarburos, originó que se suscitara un movimiento de opinión

contradictoria dentro de Pemex, a fines del sexenio de 1952 - 1958, para que se revisara la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el ramo del petróleo (1941), para definir el campo de acción de Pemex en cuestión petroquímica.

La Nueva Ley Reglamentaria promulgada en los últimos días de la administración de Adolfo Ruiz Cortinez, especificó que "la conversión de los hidrocarburos en derivados intermedios o semielaborados constituiría una actividad integrante de la industria nacionalizada, mientras que, en la transformación de los productos semielaborados en manufacturas finales, podrían intervenir indistintamente y en forma no exclusiva, tanto el Estado, por conducto de Pemex o de sus empresas subsidiarias, como la iniciativa privada".<sup>7/</sup> Este reglamento divide a la petroquímica en dos campos: La Petroquímica Básica (a cargo de Pemex), y la Petroquímica Secundaria (en manos de la iniciativa privada y Pemex indistintamente), y sustenta las bases para una participación directa y un estímulo real al desarrollo de la industria petroquímica básica, lo que implicó en el modelo de sustitución de importaciones una canalización de inversiones en un área particularmente intensiva en capital y obligaba a Pemex a garantizar el abastecimiento oportuno y en cantidades suficientes de las materias petroquímicas necesarias a las ramas industriales que se deseaban promover lo que limitó la disponibilidad de recursos financieros para las demás actividades de Pemex. De esta

---

<sup>7/</sup> Snoeck, Michèle, "La Industria Petroquímica Básica en México, 1970 - 1982", México, D.F., El Colegio de México, 1986, p. 10.

manera se diseñó un programa de integración de la petroquímica básica tomándose como eje a la demanda interna, la disponibilidad de materias primas y los recursos de capital. Así de 1958 a 1960 se manifestaron ciertas condiciones favorables para PEMEX, iniciando un programa importante de expansión gracias al incremento de sus ingresos por el alza de precios de sus productos a fines de 1958 y a un acceso al crédito internacional con menos restricciones que en años anteriores que le permitieron llevar a cabo en 1959 la planeación de un programa de petroquímica básica de fertilizantes en dos etapas: la primera con una inversión presupuestada de 450 millones de pesos, ascendiendo en la segunda etapa a 1,000 millones. g/

Sin embargo durante los primeros años de la siguiente década se presentaron algunos problemas en cuanto al tipo de infraestructura que se requería tener. Se proyectó la construcción de 28 plantas que se concluirían en un plazo de cinco años, la cual no se logró llevar a cabo al no contar con recursos financieros suficientes debido a la relegación a segundo plano de las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos que limitaron los ingresos de Pemex por concepto de ventas, y que ocasionó la suspensión en la construcción de las plantas proyectadas.

Por lo que respecta a la cuestión interna de Pemex se manifestaron ciertas reacciones nacionalistas de los técnicos de

---

g/ Snoeck, Michèle. op. cit. pp. 9 y 10

la empresa, que se opusieron al deseo de la paraestatal de promover el desarrollo de la petroquímica básica asociada con intereses privados nacionales y extranjeros para la producción de polietileno, y por lo mismo se postergó la construcción de la planta de polietileno, hasta el cambio de gobierno en 1964. Debido a la multiplicidad de usos de este producto en la petroquímica secundaria y como petroquímico básico importante, el gobierno dictaminó una Ley en contra de la participación de intereses extranjeros en la elaboración de productos estratégicos para la industria petroquímica. 9/

Así se estableció el criterio de que los productos susceptibles de emplearse como materias primas básicas, y los de interés económico-social fundamentales para el país serían elaborados por Pemex u otras empresas paraestatales exclusivamente. Este nuevo reglamento limitó la participación del capital extranjero al sector secundario en un 40% de la inversión total. 10/

Es en esta década cuando PEMEX inicia un programa de expansión de la industria petroquímica proyectada a largo plazo destinada a satisfacer las necesidades del país en el campo industrial, tan importante para el crecimiento económico, con lo cual se pudo llevar a cabo la elaboración de cinco productos petroquímicos: Azufre, dodecibenceno, tetramero, y alquilarilos

---

9/ Véase Leonor Azcárate, op. cit. pp. 23

10/ Véase el Diario Oficial, 9 de febrero de 1981.

ligero y pesado, con un volumen total de 57,000 toneladas. En 1962 se añaden el amoniaco y --su subproducto-- el anhídrido carbónico, insumos importantes para la industria de fertilizantes. En 1964 se producen los aromáticos, compuestos utilizados por industrias de fibras y resinas sintéticas, plásticos, plastificantes y detergentes. En ese año "se encontraban en operación diez plantas petroquímicas con una producción total de 396,000 toneladas". 11/

Es conveniente señalar que el crédito externo se hizo necesario para el financiamiento de los proyectos de inversión y producción, en este período Pemex obtiene un préstamo privado norteamericano de 50 millones de dólares del que destina gran parte a la petroquímica. Posteriormente negocia otro por 110 millones de dólares con el gobierno francés y un consorcio bancario, destinado a la construcción de plantas petroquímicas.

Por otro lado, a pesar de los avances logrados en materia petroquímica, no se dedicó mucho esfuerzo a la investigación científica y tecnológica en este campo, por lo que no existía un desarrollo de técnicas propias, y casi para todos los productos, se requerían licencias de patentes, detentadas por empresas químicas extranjeras.

En 1965 la industria petroquímica secundaria se desarrolló rápidamente impulsada por la expansión del sector primario y los

---

11/ PEMEX, Memoria de Labores 1965, PEMEX.

bajos precios de los productos petroquímicos básicos, pero a pesar de esto algunas empresas se abastecían del exterior, por lo que en el transcurso del sexenio 1964-1970, la política de petroquímicos estuvo orientada hacia el logro de la sustitución de importaciones, aprovechando mejor los hidrocarburos como materia prima para la elaboración de insumos. 12/

El impulso a esta industria implicó que para 1965 se tuvieran 14 plantas petroquímicas con una producción que alcanzó 579,000 toneladas anuales. La producción de cloruro de vinilo a base de dicloroetano, apoyó notablemente la industria de los plásticos, y para 1967 se empezó a producir por primera vez estireno, en la planta de Cd. Madero, Tamaulipas, lo que representó un paso importante en el abastecimiento de insumos a la industria de plásticos y hule.

Posteriormente se elaboró un nuevo programa de desarrollo que comprendió la construcción y ampliación de 35 plantas; se basaba en estimaciones del consumo final de plásticos, fibras, detergentes, solventes, insumos para la industria petrolera y fertilizantes, se incrementó la producción de amoníaco y se facilitó su consumo directo e indirecto como fertilizante mediante la reducción de su precio. Se mantuvo un elevado grado de flexibilidad en la planeación del desarrollo de la petroquímica básica y se creó una gerencia de petroquímica en

---

12/ Snoeck, Michèle. op. cit. pp. 37

Pemex (anteriormente integrada con la de refinación), al mismo tiempo que se fundó el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). 13/

Este programa de desarrollo estuvo condicionado por las exigencias técnicas de la misma industria y la difícil situación financiera de Pemex, al ver restringido su autofinanciamiento, al congelarse los precios de sus productos durante largos periodos, y establecerse una política restrictiva de financiamiento exterior.

Durante el periodo de los años 60's se contó con la disponibilidad de materias primas y la existencia de varias refinarias, por lo mismo la petroquímica se desarrolló dentro del marco de una empresa petrolera integrada que va desde la exploración de hidrocarburos hasta la elaboración de derivados. El marco institucional y legal que se estableció desde el origen de esta rama fijó las bases para el crecimiento complementario de los productos básicos y secundarios, y con la aparición de nuevos productos y procesos de producción en la petroquímica se favoreció su rápido crecimiento.

Para el año de 1970 la inversión en la industria petroquímica alcanzó 3,060 millones de pesos tanto en plantas como instalaciones y que permitieron sustituir importaciones por un valor de 4,700 millones pesos durante la década de los 60's. 14/ Se esperaba que la petroquímica básica constituyera un factor

---

13/ PEMEX, Memoria de Labores 1965, PEMEX.

14/ PEMEX, Memoria de Labores 1970, PEMEX.

dinamizador del proceso sustitutivo de importaciones. El desarrollo de la etapa en que la petroquímica básica sustitula con facilidad importaciones había quedado atrás, sin embargo aún "quedaba un amplio campo para reemplazar importaciones con producción interna, quedaban muchos productos por lanzar al mercado tanto básicos como secundarios". 15/

Considerando los crecientes incrementos de la demanda, los bajos niveles de capacidad instalada de las plantas y para disponer de colchones de excedentes, se hizo necesaria la implantación de empresas virtualmente gigantescas para estar en la misma economía de escala de las empresas mundiales.

El programa desarrollado en la década anterior permitió en ese año que la capacidad instalada ascendiera a cerca de 2.4 millones de toneladas anuales, distribuidas en 37 plantas, contandose además con 26 unidades de proceso en proyecto, de las cuales 8 se encontraban en fase de construcción. Las plantas que operaban en ese entonces se agrupaban en 11 complejos petroquímicos, en función de las materias primas que los abastecían y de la producción de diversos derivados de un mismo insumo. Cuando no se encontraban integrados a centros de refinación, se encontraban cerca de una refinería. Entre estos complejos destacaban el de Minatitlán, productora de aromáticos y el de Pajaritos, destinado a la producción de etileno y sus derivados, ambos en Veracruz. En ese año tanto el volumen como el grado de diversificación en su producción, manifestaban los

---

15/ PEMEX, Ibid.

adelantos de la petroquímica básica, como recordaremos en 1960 la producción bruta constaba de cinco productos con un volumen total de 57,000 toneladas, misma que ascendió para 1970 a 26 productos y a una producción de 1.9 millones de toneladas producción complementada con 35.000 toneladas de amoniaco producido por GUANOMEX y que permitió satisfacer el 84% del consumo nacional aparente. Es conveniente señalar que casi el 34% del volumen de la producción petroquímica de PEMEX fue consumido por la propia empresa y las ventas nacionales ascendieron a poco menos de un millón de toneladas. 16/

Como el objetivo fundamental de la petroquímica básica se simentó en la sustitución de importaciones y en la propia legislación petroquímica, que estipulaba que esta rama debía dedicarse (fundamentalmente) a abastecer el mercado interno, las exportaciones tuvieron un papel secundario. La ampliación de la planta productiva estuvo orientada a satisfacer la demanda de los productos de mayor consumo interno, sin prestar mucha atención a la competitividad internacional, aunque desde 1967 existían apreciaciones en cuanto a las perspectivas de exportación de petroquímicos, mismas que se fundamentaban en la disponibilidad de hidrocarburos. A pesar que durante los 60's se mantuvo un considerable proceso de sustitución de importaciones en 1970 el país era autosuficiente en tan sólo ocho (8) productos. La insuficiencia de la producción nacional obedecía a diversos

---

16/ SPP, "Escenarios Económicos de México, 1970-1975", México, SPP y Memoria de Labores 1975, PEMEX.

factores entre los que destacaba: La imposibilidad por parte de Pemex de expandir la capacidad productiva al ritmo que exigía la demanda, tanto de nuevos productos petroquímicos como de aquellos ya elaborados internamente; así mismo se evidenciaban algunos de los problemas internos de la empresa y de la industria petroquímica en su conjunto. Pemex se enfrentaba a cuellos de botella ocasionados por retrasos en ingeniería, errores en los cálculos de insumos y lentitud en el abastecimiento interno y externo de equipos.

Por otra parte la ejecución de los proyectos elaborados por PEMEX/IMP, se enfrentaban a diversos obstáculos entre los que sobresalen los desequilibrios temporales en la planta instalada al surgir la necesidad de modificar ciertos proyectos en función de prioridades propuestas por los descubrimientos recientes de hidrocarburos, "se manifestaban claramente las dificultades en la programación simultánea de acciones en diversas áreas de la industria petrolera y no se seguía a nivel operativo una estrategia integrada para la industria en su conjunto, algunos problemas se detectaban cuando ya estaban surgiendo lo que ocasionaba un cambio de prioridades y una redistribución de los recursos con la consecuente interrupción de los proyectos". 17/

Durante el transcurso de los años 60's no se le dió la importancia que requería la disponibilidad de recursos tecnológicos internos y la complejidad de los procesos de

---

17/ Snoeck, Michèle. op. cit. pp.47

producción petroquímica, recurriéndose a la importación de la mayor parte de la tecnología, pero no se había tomado en cuenta la modalidad y el costo de transferencia de la misma. Sin embargo al iniciarse los años 70's se manifestó una mayor preocupación por los aspectos tecnológicos del desarrollo económico del país. La importación de equipos y materiales agudizaba el problema de la balanza de pagos. Además las condiciones de su adquisición incluían restricciones a la exportación de la producción y al abastecimiento de ciertos materiales de fuentes específicas. Como la tecnología petroquímica a nivel mundial se enfocaba a la producción en gran escala se dificultaba su ampliación en los países como México con mercados internos limitados, esto implicó un mayor esfuerzo de innovación para adaptar dicha tecnología a las condiciones locales, tanto en tamaño de mercados como en la disponibilidad y costos de materias primas y materiales de construcción, calificación de mano de obra, etc..

Entre las funciones del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), creado en 1965, se encontraban el desarrollo de tecnologías propias, la ingeniería de productos, y el apoyo a los usuarios de tecnología para la industria petrolera y petroquímica, que durante el transcurso de los 70's se intensificaron y perfeccionaron, iniciándose el desarrollo de procesos y la evaluación de productos en plantas piloto, así como la ingeniería de varios proyectos petroquímicos de Pemex.

Una de las características más sobresalientes de la petroquímica básica es su alto grado de automatización, con la consecuente poca utilización de mano de obra, además de ser

sumamente intensiva en capital, absorbía enormes volúmenes de inversión que en esa época no se generaban dentro de la rama, y además se encontraba en una fase incipiente y frente a una demanda que crecía con gran rapidez, tanto en términos de volumen como de nuevos productos, que aunado a la política de bajos precios para los productos de Pemex asumida desde la nacionalización impedía que estos se ajustasen de acuerdo a las necesidades de financiamiento de la empresa, agudizándose los problemas de asignación de recursos ya que la inversión de la industria petroquímica provenía del sector de refinación, mismo que necesitaba modificaciones y ampliaciones.

Para facilitar el análisis del periodo de 1970 a 1980, en esta parte del trabajo distinguiremos dos fases en la evolución de la Petroquímica Básica. Por un lado el sexenio de Luis Echeverría Álvarez (1970-1976) y por otro el de José López Portillo (1976-1982).

### 3. COMPORTAMIENTO DE LA INDUSTRIA PETROQUIMICA BASICA: POLITICAS Y PROGRAMAS

Es muy importante examinar el marco institucional (en los años 1970-82) dentro del cual se desarrolló la industria petroquímica básica. Para empezar mencionaremos que una de las medidas y políticas tomadas al inicio de la administración de Luis Echeverría Álvarez en 1970 fué la promulgación del nuevo planteamiento de la Ley Reglamentaria del artículo 27 Constitucional en el ramo del petróleo y sobre todo en materia de petroquímica, la cuál definió con mayor precisión a la petroquímica básica y delimitó su campo de acción reservándose este a la Nación. Esta misma Reglamentación otorgó mayores atribuciones a la Secretaría de Patrimonio Nacional (SEPANAL), en ésta se concentró la responsabilidad del control y manejo de la petroquímica, mediante la definición de políticas encaminadas a acelerar su crecimiento, política que se reflejó también en la agilización de los trámites y la concesión de los permisos petroquímicos.

Debido al interés en la sustitución de importaciones en esa época no se prestó gran énfasis a los aspectos de competitividad como (políticas de precios, de comercio exterior, de producción -- costos, procesos, productos, tecnología --, investigación, etc.), a pesar de su importancia, tanto en términos de las perspectivas de crecimiento de la industria y de

la incorporación de nuevos productos, como de las posibilidades de exportación. 18/

Considerando la estrecha relación entre el sector estatal y privado en cuestión de petroquímica es necesario mencionar a la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), principal asociación de la iniciativa privada en este campo. Aunque la industria química también forma parte de la Confederación Nacional de Cámaras Industriales (CONCAMIN), y la Confederación Nacional de Cámaras de la Industria de la Transformación (CANACINTRA). La ANIQ ha sido un eslabón político clave entre el gobierno y la iniciativa privada. Las reivindicaciones del sector petroquímico secundario se han centralizado en este organismo transmitiéndose directamente por medio de su representante a las entidades estatales involucradas en él (PEMEX, SEPANAL/SEPAFIN, SIC/SECOM).

Entre los principales objetivos de la política petrolera estaban el de impulsar el desarrollo de la IPB, debido a su gran importancia sobre la sustitución de importaciones al mismo tiempo que se incrementó el empleo y la descentralización industrial, con el fin de lograr la autosuficiencia de productos petroquímicos básicos así como disponer de excedentes exportables. 19/

---

18/ Véase Leonor Azcárate, op. cit. pp. 40

19/ Banco Nacional de Comercio exterior, "Primer Informe de Gobierno". Vol. XXI, Núm. 9, octubre de 1981

la incorporación de nuevos productos, como de las posibilidades de exportación. 18/

Considerando la estrecha relación entre el sector estatal y privado en cuestión de petroquímica es necesario mencionar a la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), principal asociación de la iniciativa privada en este campo. Aunque la industria química también forma parte de la Confederación Nacional de Cámaras Industriales (CONCAMIN), y la Confederación Nacional de Cámaras de la Industria de la Transformación (CANACINTRA). La ANIQ ha sido un eslabón político clave entre el gobierno y la iniciativa privada. Las reivindicaciones del sector petroquímico secundario se han centralizado en este organismo transmitiéndose directamente por medio de su representante a las entidades estatales involucradas en él (PEMEX, SEFANAL/SEPAFIN, SIC/SECOM).

Entre los principales objetivos de la política petrolera estaban el de impulsar el desarrollo de la IFB, debido a su gran importancia sobre la sustitución de importaciones al mismo tiempo que se incrementó el empleo y la descentralización industrial, con el fin de lograr la autosuficiencia de productos petroquímicos básicos así como disponer de excedentes exportables. 19/

---

18/ Véase Leonor Azcárate, op. cit. pp. 40

19/ Banco Nacional de Comercio exterior, "Primer Informe de Gobierno". Vol. XXI, Núm. 9, octubre de 1981

Durante esta época la petroquímica básica empezó a adquirir un papel preponderante en el desarrollo de la economía mexicana, se tenían importantes expectativas en cuanto al papel que desempeñaría esta rama. Es en ese momento cuando la sociedad mexicana se encontraba en un estado de deterioro económico y social que se reflejó principalmente en la disminución de la actividad productiva (desaceleración de la expansión industrial y disminución de la producción agrícola por falta de capital), en la profundización de la dependencia del exterior, en la tendencia al desequilibrio externo, en el debilitamiento de la tasa de inversión privada y de las finanzas públicas. Con motivo de estos problemas y frente a la acentuación de los desequilibrios y desigualdades sociales y regionales, se concibió una estrategia industrial enfocada a la organización de polos regionales de desarrollo, de esta manera se estimuló el crecimiento de las zonas de menor actividad productiva y de las regiones de mayor potencial. Dentro de este aspecto la industria petroquímica fue considerada como una de las actividades económicas en la cual podría descansar la ejecución de dicha política; así los complejos integrados por varias plantas formaron parte de la base productiva que contribuyó a la formación de estos polos. 20/

Durante el transcurso de la década 1970-1990, la política económica de desarrollo regional, tuvo una influencia

---

20/ Véase Revista Económica. "La Industria Petroquímica: punta de lanza para la recuperación". México, abril 5 de 1983.

considerable en el desarrollo y localización de la industria petroquímica, a raíz fundamentalmente de los nuevos descubrimientos petroleros y a los mayores recursos económicos de PEMEX, ya que durante el periodo 1970-1973 la difícil situación financiera de PEMEX limitó el capital disponible para inversión y la empresa lo dedicó principalmente a resolver los problemas de escasez interna de crudo. 21/ A pesar de considerarse a la petroquímica básica capaz de generar sus propios recursos para inversión, a partir de la operación de nuevas plantas de mayor capacidad con mayores economías de escala, de 1971 a 1973, la inversión realizada en la industria alcanzó 2,028 millones de pesos, o sea solo el 12% de la inversión total de PEMEX en estos años. Como se verá las inversiones fueron relativamente modestas en comparación con la intención de ampliar la capacidad productiva.

En contraste con los años anteriores 1973 y 1974 se caracterizaron por una escasez de productos petroquímicos básicos a nivel mundial. Esto se debió tanto al incremento de los precios de los derivados del petróleo, como a la insuficiente capacidad de producción de petroquímicos, como consecuencia de la reducida inversión en esta área en el decenio de los 60's, los precios se duplicaron o triplicaron en el mercado internacional. Para México, esto significó que las importaciones de petroquímicos se hicieran más difíciles de concertar por que se efectuaban a precios muy por encima de los que tradicionalmente se contrataban. En el periodo 1972-73 las importaciones de

---

21/ PEMEX, Memoria de Labores 1973, pp. 7-9

petroquímicos por parte de FEMEX decrecieron 25% en volumen mientras que en valor se incrementaron 27%. 22/

Esto se debió principalmente a que en los primeros años de la década de los 70's Pemex se encontraba con dificultades para abastecer la demanda interna del país, de productos petroquímicos, y sobre todo el sector petroquímico secundario. De esta manera no se alcanzó la autosuficiencia en petroquímicos básicos, como ejemplo de esto señalaremos que el amoníaco, en particular representaba un cuello de botella para el desarrollo de la industria de fertilizantes nitrogenados. Como recordaremos una de las políticas de Luis Echeverría era impulsar el desarrollo agrícola, pero el estancamiento de la industria de fertilizantes impedía avances concretos en esta actividad por lo que el gobierno decidió dar prioridad a la inversión en esta industria, aunque de manera limitada por la insuficiencia de materias primas (amoníaco, y sulfato de amonio), pero a partir de 1973-74, surgieron factores que dieron un nuevo impulso a la IFE, principalmente una mayor disponibilidad de materias primas fundamentalmente (gas natural), gracias a los descubrimientos de campos petroleros en el sureste y el incremento de recursos propios de Pemex, como resultado del alza de precios de sus productos a fines de 1973. De esta manera a partir de 1974 las inversiones presupuestadas para programas petroquímicos se incrementaron de 6,265 millones de pesos a 8,427 millones. 23/

---

22/ Banco de México, "Informe Anual 1973 y 1974".

23/ FEMEX, Memoria de Labores 1974.

A partir de ese año las inversiones petroquímicas tuvieron una magnitud significativa y repercutieron en la construcción de nuevas plantas para generar una producción en gran volumen y por lo mismo el desarrollo de las economías de escala. Estas plantas obtuvieron un nivel comparable al de los grandes complejos petroquímicos del mundo, permitiendo cubrir la demanda interna y además disponer de importantes excedentes exportables. 24/

Esta nueva estrategia de inversión se enfocó a dos tipos de proyectos. El primero destinado al desarrollo de tres nuevas plantas de amoníaco, para lo cual PEMEX solicitó a una empresa estadounidense (M.W. Kellogg), que se encargara de la ingeniería de las mismas; con la puesta en operación de las mencionadas plantas se pudo disponer de 6,300 toneladas diarias de amoníaco a fines de 1976, en comparación con 1,700 producidas en 1974.

EL segundo tipo de inversión correspondió a la construcción y puesta en operación de un enorme complejo ubicado en la Cangrejera, Veracruz; el cual refinaria hidrocarburos del sureste con una capacidad nominal de 2.8 millones de toneladas por año, repartida en 20 plantas, incrementándose de esta manera en un 70% la capacidad que existía en 1975. El costo de este complejo estaba presupuestado en 7,800 millones de pesos, el mayor de su tipo en América Latina y uno de los más grandes del mundo. Gracias al conjunto integrado de las 20 plantas que forman el complejo, con una capacidad a nivel mundial y su tecnología de

---

24/ Banco Nacional de Comercio Exterior, "Cuarto Informe Presidencial", Vol. XXIV. Núm. 9. Octubre de 1974. México.

punta, fué posible elaborar más de 20 productos y subproductos, alcanzandose de esta manera el objetivo de autosuficiencia y al mismo tiempo disponer de volúmenes importantes de exportación.

Después de 1975 la industria petroquímica básica, empezó a adquirir un carácter estratégico no sólo por su participación en el proceso de industrialización del país --a partir de la sustitución de importaciones-- sino también por las expectativas de exportaciones de esta rama fué incluida entre los sectores industriales prioritarios en la asignación de inversiones, al considerarse a esta industria como una conjunción de las características de la política industrial propuesta por el gobierno y permitió aprovechar de una manera más óptima la disponibilidad de hidrocarburos, la relocalización regional de la industria, el uso intensificado de la infraestructura y el estímulo a los empresarios nacionales.

De esta manera el plan sexenal de petroquímica básica 1977-82, diseñado por PEMEX, planteaba la intención de establecer rápidamente una gran industria petroquímica básica a nivel mundial, basandose en la mayor disponibilidad de materias primas y recursos financieros (originales por las exportaciones de petróleo). Con este programa de inversión petroquímica se logró avanzar en la autosuficiencia interna de insumos petroquímicos, y del mismo modo participar como competidor importante en el mercado internacional de algunos productos como; amoníaco, paraxileno, aromáticos, polietileno de baja densidad y algunos derivados del etileno. Con esto se planteó una meta de exportación que representó 26% de la producción petroquímica

básica.

A partir de 1977 gracias a la disponibilidad de petróleo, gas y a la construcción de complejos integrados con más alta economía de escala y un mayor nivel de tecnología fué posible lograr algunas de las metas fijadas en esta década. Mencionaremos que la Cangrejera (cuya capacidad de producción prevista se incremento de 2.8 a 3.5 millones de toneladas al año), era considerada como un eslabón clave para la expansión de la petroquímica nacional. 25/

Con el aumento de la capacidad productiva del amoniaco, que era de 905 mil toneladas a casi 3 millones ton. al año, se impulsó el desarrollo de la industria de fertilizantes. En lo referente al etileno, la capacidad instalada se amplió de 260 mil toneladas al año a 2 millones de ton., con lo que México se convirtió en un productor importante de etileno, el cual constituyó y constituye el insumo para la elaboración de elevados volúmenes de derivados como: Cloruro de vinilo, óxido de etileno, acetaldehído y estireno. De igual modo se incremento la producción de aromáticos de 310 mil toneladas a 2.4 millones de toneladas al año. Al mismo tiempo que las producciones de paraxileno, benceno, y ortoxileno, se elevaron enormemente.

Por otra parte, el Plan Nacional de Desarrollo Industrial (PNDI) 1979-1982 remarcó lo importante que era darle a la

---

25/ Revista Económica, "La Cangrejera: el centro petroquímico más grande de México", México, mayo 15 de 1981.

industria petroquímica prioridad por ser una rama de alta productividad nacional.

Conviene mencionar que las perspectivas favorables para la economía mexicana en 1979 y la rápida expansión de importantes sectores influyeron en el establecimiento de metas elevadas para la petroquímica. El PNDI asignó un papel central a la inversión pública, en la cual PEMEX tendría un lugar prioritario con 40% de la inversión presupuestada para el conjunto de las empresas estatales.

La política económica de desarrollo regional, al inicio de los 70's estaba encaminada a impulsar los polos regionales industriales, y de estos destacan cuatro puertos industriales (Coatzacoalcos, Salina Cruz, Tampico y Lázaro Cárdenas), con el fin de facilitar la exportación de manufacturas y romper la atadura del mercado interno; tres de estos puertos, estaban ligados a las actividades de la industria petroquímica, que aunado el apoyo del PNDI en esta rama, en materia de inversión remarcaron aun más el carácter estratégico de la industria petroquímica básica.

A pesar de todo lo anterior, a fines del sexenio, de López Portillo (1982), la industria petroquímica básica aun dependía del exterior para más de 20 productos con un volumen de importaciones del 12.5% del consumo nacional, mientras que las exportaciones se concretaban en sólo dos productos, por lo que la balanza comercial de Pemex en esta área alcanzó un déficit de 12 mil millones de pesos; postergándose de esta manera los 2

principales objetivos del sexenio en materia petroquímica: Autosuficiencia en producción y diversificación de las exportaciones. 26/

En resumen podemos afirmar, que se experimentaron retrasos de varios años en la ejecución del programa sexenal 1976-1982, en particular en el caso de la construcción de la Cangrejera. A los problemas imputables a deficiencias internas de PEMEX, se sumó el impacto de las crisis económicas de 1976 y de 1981-1982, que restringieron fuertemente los recursos financieros disponibles, con las alzas a los precios internacionales, de productos petroquímicos importados y a la política de bajos precios internos originaron que las escasas utilidades logradas de 1970 a 1973 se convirtieran en crecientes pérdidas a partir de 1976.

A continuación se realizará un breve análisis de la estructura productiva de la industria petroquímica básica que aclare la situación por la que atravesó esta industria en la década de los setentas.

---

26/ Banco de México, "Informe Anual, 1982", pp.91, y PEMEX, "Industria Petroquímica: análisis y expectativas", 1981.

#### 4. ESTRUCTURA PRODUCTIVA

La capacidad instalada en la década de los 70's, creció notablemente hasta el grado de alcanzar cerca de 14.9 millones de toneladas. Destacando los años 1977 y 1978, con un crecimiento anual promedio de 23.4% gracias a la terminación de varias plantas de amoniaco.

A raíz de la expansión de la Industria Petroquímica Básica (IPB) en 1974, se seleccionaron nuevos tamaños de plantas, para lograr crecientes economías de escala en la producción petroquímica, que para fines de la década eran de una dimensión comparable a los mayores complejos petroquímicos del mundo. 27/

Así mientras que en el sexenio 1970-76 iniciaron su operación 17 plantas, en el siguiente sexenio se lograron construir 57 instalaciones. De este modo se estima que en dicha década la inversión acumulada en petroquímica básica fue de alrededor de 90,000 millones de pesos, y en cuanto a la inversión anual esta mostró un considerable incremento a partir de 1974, llegando a su nivel máximo en los años 1977-79. (ver apéndice cuadro 1.2).

Por otro lado, la producción bruta total de petroquímicos

---

27/ Snoeck, Michéle, op. cit. pp.41

básicos se incrementó de 1.9 millones de toneladas en 1970 a 7.2 millones en 1980, es decir a una tasa media anual de 15.2%, destacando los incrementos ocurridos en 1978, al ampliarse la capacidad instalada (ver cuadro 1.3).

CUADRO 1.3

CAPACIDAD INSTALADA Y PRODUCCION DE PETROQUIMICOS BASICOS

| AÑO  | CAPACIDAD INSTALADA |                     | PRODUCCION     |                     | APROVECHAMIENTO         |
|------|---------------------|---------------------|----------------|---------------------|-------------------------|
|      | Volumen (Mton)      | Variación anual (%) | Volumen (Mton) | Variación anual (%) | Capacidad instalada (%) |
| 1970 | 2 349.4             | —                   | 1 931.1        | —                   | 83.1                    |
| 1971 | 2 494.7             | 6.2                 | 2 095.1        | 8.5                 | 86.5                    |
| 1972 | 2 990.4             | 19.9                | 2 320.4        | 10.8                | 84.6                    |
| 1973 | 3 299.2             | 10.3                | 2 649.8        | 14.2                | 84.3                    |
| 1974 | 4 058.6             | 23.0                | 2 977.8        | 22.1                | 80.9                    |
| 1975 | 4 408.0             | 8.6                 | 3 634.9        | 8.6                 | 85.9                    |
| 1976 | 5 039.4             | 14.3                | 3 946.3        | 6.4                 | 83.5                    |
| 1977 | 6 384.5             | 26.7                | 4 200.2        | 37.8                | 73.5                    |
| 1978 | 7 659.3             | 20.0                | 5 786.0        | 9.6                 | 82.4                    |
| 1979 | 7 839.8             | 2.4                 | 6 344.6        | 13.9                | 85.9                    |
| 1980 | 8 886.5             | 13.4                | 7 224.0        | 26.8                | 86.4                    |

FUENTE: Pemex, Memoria de Labores, 1970-1980, México, Pemex.

Con el objeto de analizar la evolución de la producción señalaremos que los derivados del metano, del etileno, propileno y butadieno tuvieron una importancia relativa en volumen de producción, debido a la disponibilidad de gas natural, que llevó a sustentar crecientemente el desarrollo de la IPB en su aprovechamiento; para 1970 el 76% del volumen de producción

petroquímica bruta era elaborado a partir de los componentes del gas natural, proporsión que en 1980 alcanzó 89%.

En lo referente a los aromaticos que se obtienen de la nafta como el benceno, tolueno, aromina, heptano, hexano, meta y para xileno, y ortoxileno, los procesos de producción para este grupo de petroquímicos aun no alcanzaban su desarrollo y afines de los años 70's la producción fué de 602 mil toneladas en lugar de los 2.4 millones de toneladas que estaban previstas.

A lo largo de la década 1970-80, la participación del grupo de los aromaticos en la producción total disminuyó de 29 a 13%, como consecuencia del efecto de la crisis económica que el país sufrió en 1976, misma que se redujo en 1979 a 11.5%, debido a problemas técnicos en la operación de las plantas de ciertos aromaticos, la principal razón del limitado crecimiento de la producción fué la continua postergación de la terminación de la Cangrejera. 28/

De esta manera, el valor de la producción bruta aumentó de 1,502 millones de pesos en 1970 a 17,457 millones de pesos en 1980 (ver cuadro 1.4).

El crecimiento anual promedio en ese año fué de 28.3%, muy irregular al elevarse abruptamente en ciertos años como consecuencia de los aumentos de precios. En 1973 y 1974 alcanzó 51% y 74% respectivamente (comparado con un incremento en

---

28/ Véase FEMEX, "Industria Petroquímica: Análisis y Expectativas", México, 1981.

volumen de 14 y 12%). En 1977 y 1980, el valor de la producción creció 44 y 34% respectivamente, resultado de la elevación de los precios en diciembre de 1976 y enero de 1980.

En base a todo lo anterior podemos decir que el ritmo de crecimiento de la economía, en particular de 1973 a 1980 fué de 8.5% en promedio anual, junto con la diversificación de los

C U A D R O 1.4

VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCION DE PETROQUIMICOS BASICOS, 1970-1980

| AÑO  | VOLUMEN |                     | VALOR             |                     |
|------|---------|---------------------|-------------------|---------------------|
|      | (Mton)  | Variación anual (%) | Millones de pesos | Variación anual (%) |
| 1970 | 1 931.1 | ---                 | 1 540             | ---                 |
| 1971 | 2 095.1 | 8.5                 | 1 759             | 14.5                |
| 1972 | 2 320.4 | 10.8                | 2 080             | 18.2                |
| 1973 | 2 649.8 | 14.2                | 2 648             | 50.5                |
| 1974 | 2 977.8 | 22.1                | 4 606             | 73.9                |
| 1975 | 3 634.9 | 8.6                 | 5 766             | 25.2                |
| 1976 | 3 946.3 | 6.4                 | 6 818             | 18.2                |
| 1977 | 4 200.2 | 37.8                | 9 729             | 43.6                |
| 1978 | 5 788.0 | 9.6                 | 11 501            | 17.5                |
| 1979 | 6 344.6 | 13.9                | 13 020            | 13.2                |
| 1980 | 7 224.0 | 26.8                | 7 457             | 34.1                |

FUENTE: Pemex, Memoria de Labores, 1970-1980, México, Pemex.

mercados finales e intermedios para los productos petroquímicos, en virtud de sus crecientes posibilidades de sustitución de productos, que tuvieron como resultado un fuerte incremento de la demanda de petroquímicos básicos. De esta manera el volumen del consumo nacional aparente creció a un ritmo anual de 14.5% en el

período 1970 - 1980 (ver apéndice cuadro 1.5).

Así a fines de los años 70's la producción no satisfacía la demanda interna; y la participación de las importaciones en el consumo nacional aparente se incrementó de 11.3% en 1971 a 24.3% en 1980.

De esta manera la participación de la petroquímica a los ingresos por ventas de PEMEX se elevó de 9.6% en 1970, a 12% en 1976- 77, pero a partir de 1978 las exportaciones de petróleo crudo se incrementaron, y por tal motivo la participación de la petroquímica en las ventas totales de Pemex disminuyó paulatinamente hasta representar solo 6.3% en 1980, (ver cuadro 1.6).

CUADRO 1.6

PARTICIPACION DE LA INDUSTRIA PETROQUIMICA BASICA EN LAS VENTAS TOTALES DE PEMEX, 1970 - 1980

(millones de pesos)

| AÑO  | VENTAS NETAS DE PEMEX |               |              | VENTAS DE PETROQUIMICOS BASICOS |               |              | PARTICIPACION<br>(2) en (1) |
|------|-----------------------|---------------|--------------|---------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------|
|      | Internas              | Exportaciones | Total<br>(1) | Ventas<br>internas              | Exportaciones | Total<br>(2) |                             |
| 1970 | 12 914                | 505           | 13 600       | 1 260                           | 47            | 1 307        | 9.6                         |
| 1971 | 14 033                | 424           | 15 176       | 1 375                           | 48            | 1 423        | 9.4                         |
| 1972 | 15 609                | 336           | 16 474       | 1 755                           | 33            | 1 788        | 10.9                        |
| 1973 | 18 305                | 423           | 19 555       | 2 112                           | 59            | 2 171        | 11.1                        |
| 1974 | 30 616                | 1 610         | 32 798       | 2 604                           | 82            | 2 686        | 8.2                         |
| 1975 | 33 029                | 5 314         | 39 710       | 4 051                           | 66            | 4 117        | 10.4                        |
| 1976 | 38 106                | 6 835         | 46 469       | 5 642                           | 9             | 5 651        | 12.2                        |
| 1977 | 52 812                | 23 723        | 76 729       | 9 112                           | 66            | 9 178        | 12.0                        |
| 1978 | 58 696                | 41 892        | 100 595      | 10 039                          | 1 541         | 11 580       | 11.5                        |
| 1979 | 73 177                | 92 876        | 166 053      | 12 115                          | 2 509         | 14 624       | 8.8                         |
| 1980 | 90 325                | 239 136       | 335 461      | 18 232                          | 2 889         | 21 121       | 6.3                         |

FUENTE: Pemex, documentos internos; 1970 - 1980, México, Pemex.

Conviene señalar que la situación deficitaria de la IPB a partir de los tres primeros años de 1970 se debió en parte a la política de subsidio en la comercialización de las importaciones. Se estableció que PEMEX importaría aquellos productos que no eran elaborados por la empresa y los revendiera a un solo precio sin importar su origen. Esto no trajo mayores consecuencias, sino hasta 1976 con las devaluaciones del peso mexicano, el alza los precios internacionales, y el incremento del volumen de importaciones, que al revender estas al precio vigente implicó para PEMEX absorber una parte creciente del costo de importación. El subsidio se elevó de 667 millones pesos en 1974 a 5,333 millones en 1979, (ver cuadro 1.7).

C U A D R O 1.7

SUBSIDIO EN LA COMERCIALIZACION DE PETROQUIMICOS IMPORTADOS

(Millones de pesos)

| ANO  | INGRESOS POR VENTAS DE IMPORTACION | COSTO DE IMPORTACION | COSTO DE COMERCIALIZACION | SUBSIDIO |
|------|------------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|
| 1974 | 585                                | 932                  | 330                       | 667      |
| 1975 | 755                                | 712                  | 250                       | 187      |
| 1976 | 1 659                              | 1 659                | 580                       | 603      |
| 1977 | 3 520                              | 3 599                | 1 280                     | 1 339    |
| 1978 | 3 919                              | 3 721                | 1 300                     | 1 102    |
| 1979 | 4 967                              | 7 628                | 2 670                     | 5 331    |

F U E N T E: Pemex, Estados financieros al 31 de diciembre de 1979 y SFP, La industria petrolera en México, SFP.

El saldo negativo del comercio exterior de PEMEX en el área petroquímica se incrementó de 25 mil toneladas en 1970 a 430 mil

ton. en 1977. Posteriormente en 1978 gracias al fuerte incremento de la producción de derivados del gas natural seco, se pudo colocar en el mercado internacional un excedente considerable de amoníaco y metanol, y como resultado de esto el saldo de la balanza comercial petroquímica registró un superavit de 215 mil toneladas, que se mantuvo hasta 1979 con 154 mil toneladas; sin embargo reportó en 1980 un marcado déficit de 6,923 toneladas (ver cuadro 1.8).

CUADRO 1.8  
COMERCIO EXTERIOR DE PRODUCTOS PETROQUÍMICOS BÁSICOS, 1970 - 1980

(toneladas)

| AÑO  | IMPORTACIONES |              |         | Exportaciones | SALDO     |           |
|------|---------------|--------------|---------|---------------|-----------|-----------|
|      | Pemex         | Particulares | Total   |               | Pemex     | IPB (*)   |
| 1970 | 90 794        | 185 406      | 276 200 | 65 998        | ( 24 796) | (210 202) |
| 1971 | 104 961       | 227 339      | 332 300 | 69 577        | ( 35 384) | (262 723) |
| 1972 | 166 299       | 324 001      | 390 300 | 54 370        | (111 929) | (435 930) |
| 1973 | 124 925       | 360 475      | 485 400 | 34 616        | ( 90 309) | (450 784) |
| 1974 | 157 623       | 366 077      | 523 700 | 21 171        | (136 452) | (502 529) |
| 1975 | 179 166       | 201 034      | 380 200 | 13 860        | (165 306) | (366 340) |
| 1976 | 316 647       | 265 853      | 482 500 | 1 699         | (314 948) | (460 801) |
| 1977 | 460 431       | 197 369      | 657 800 | 30 211        | (430 220) | (627 589) |
| 1978 | 485 442       | 175 153      | 660 600 | 700 773       | 215 331   | 40 173    |
| 1979 | 595 504       | 270 576      | 866 500 | 750 002       | 154 098   | (116 498) |
| 1980 | 762 123       | 204 477      | 966 600 | 755 200       | ( 6 923)  | (211 400) |

(\*) IPB: Industria Petroquímica Básica.

F U E N T E: SFP, La industria petrolera en México, México, SFP, 1980; Pemex. Memoria de Labores, 1970 - 1980, México, Pemex.

Como se puede ver en el cuadro anterior las importaciones de Pemex siempre han sido mayores que sus exportaciones, hasta el

año de 1975 los particulares absorvieron una mayor cantidad de petroquímicos importados comparativamente a Pemex, pero a partir de 1976 con la fuerte intensificación de la producción petroquímica nacional disminuyeron las compras al exterior de los particulares. El saldo de la petroquímica básica en este aspecto siempre ha sido deficitario, con excepción de los últimos tres años donde se presentó un pequeño superavit.

Desde la estatización de la industria petroquímica básica en México en 1958 y su inserción en el marco del Modelo de Desarrollo Estabilizador, se ha caracterizado por una fuerte concentración de capital, una extensión sostenida de su ritmo de producción y una marcada ampliación de la inversión en este sector. 29/

Este modelo influyó para que se diera un fuerte aunque desequilibrado crecimiento industrial durante la siguiente década. En este contexto la industria petroquímica básica ha ido adquiriendo un caracter eminentemente estratégico dentro de la economía nacional. 30/

A continuación elaboraremos un análisis de la evolución y comportamiento de la economía (de 1980 a 1987), así como la inserción de la petroquímica básica en la misma y su vinculación con el sector industrial y manufacturero a través de su contribución en el Producto Interno Bruto (PIB).

---

29/ Centeno, Roberto. "Economía del Petróleo y del Gas Natural". Editorial Tecnos, S.A., Madrid, España, 1974.

30/ SEPAFIN, "Petroquímica, Desarrollo Histórico; Análisis de la situación actual de la petroquímica en México", 1984.

C A P I T U L O    I I

INTERDEPENDENCIA DE LA INDUSTRIA PETROQUIMICA BASICA

EN MEXICO, 1980 - 1987

## 1. ANTECEDENTES

En 1976 México surge como una potencia petrolera al existir una escasez de hidrocarburos en los mercados internacionales, el país atravesaba en esos momentos por una fuerte crisis económica originada por la devaluación del peso en ese año, y como una medida para enfrentar dicha crisis -- que impedía la flexibilidad para aumentar las exportaciones y reducir las importaciones, a la vez que ponía en peligro la capacidad del aparato productivo--, el gobierno empleó al petróleo y al endeudamiento externo como instrumentos de financiamiento con lo que se logró durante cuatro años (1978-1981) un crecimiento sostenido del Producto Interno Bruto (PIB) superior al 8 %. 31/ Cabe destacar que dicha estrategia petrolera de ajuste mostró sus defectos y limitaciones en la crisis de 1981-1982 originada por la caída de los precios de los hidrocarburos, lo que implicó una inestabilidad del sistema cambiario-financiero, haciéndose necesario para contrarrestar esto la implantación de una política de inversión acelerada principalmente a cargo del sector público, 32/ incrementándose la participación del Estado como agente económico, sobre todo en la inversión en el sector petrolero.

---

31/ Banco de México, "Informe Anual 1982", Banco de México.

32/ Barkin, David. "Inflación y Democracia, el caso de México". Siglo XXI, México, 1978.

Este programa de inversiones públicas se enfocó a la expansión de las obras de exploración, extracción y refinación del petróleo, así como a las ampliaciones de la planta petroquímica básica, y estimularon significativamente la inversión privada. Las inversiones de Pemex se incrementaron notoriamente, representando más de la mitad de las inversiones del sector paraestatal y mostro un aumento importante en los últimos años debido a que la política en materia de energéticos facilitó el acceso de organismos públicos y de empresas privadas a los mercados financieros internacionales, al mismo tiempo que la canalización de créditos extranjeros al país fué posible gracias al petróleo, al fungir este como "garantía" para los acreedores internacionales.

Por otro lado, tanto el desempeño de la producción como de los precios estuvo relacionado con la mayor importancia que cobró la expansión del sector petrolero, y dentro de éste, la petroquímica básica que fué impulsada por su carácter prioritario, constituyéndose como una de las ramas económicas junto con el sector eléctrico que presentaron tasas de crecimiento positivas, a pesar de que el país atravesaba por una crisis económica a raíz de la caída de los precios del petróleo en 1981. De manera que pasaremos a analizar el papel que ha jugado la petroquímica básica dentro del marco económico del país en el periodo 1980-1987, así como su vinculación con otros sectores productivos (industrial y manufacturero), a través de su participación en el Producto Interno Bruto (PIB).

2. COMPORTAMIENTO DE LA ECONOMIA Y  
PARTICIPACION DE LA PETROQUIMICA BASICA EN EL  
PRODUCTO INTERNO BRUTO Y EN LOS SECTORES  
INDUSTRIAL Y MANUFACTURERO, 1980 - 1987

Al iniciar la presente década, la economía del país se movía bajo una presión de la demanda agregada que al enfrentarse a una capacidad productiva interna relativamente inelástica originó un incremento en la producción, un aumento en las importaciones y un alza en el ritmo de la inflación. "El aumento del producto fue muy significativo (8.3%) y completó un periodo de tres años consecutivos de crecimiento, que fue el reflejo de rápidos incrementos de la producción en casi todos los sectores de la oferta, entre los que destacaron el petrolero, el de la construcción, y el agrícola entre otros". 33/ Sin embargo el crecimiento de la producción manufacturera se vio frenado por la falta de capacidad, disminuyendo de esta manera la actividad exportadora de la industria nacional y provocando al mismo tiempo que las importaciones alcanzaran un nivel alto al competir con la producción interna. "El incremento de las importaciones

---

33/ Banco de México, "Informe Anual 1980 y 1981". Banco de México.

fué notable por su volumen en el caso de las materias primas, y por su ritmo, en las compras de bienes de consumo, aunque esta tasa de crecimiento descendió a fines de 1980". 34/

Con la evolución de la economía se confirmó un patrón de crecimiento y expansión del ingreso y la inversión, que estuvo influenciado por una amplia capacidad para importar y un aumento de las exportaciones petroleras. Las principales importaciones de bienes de capital del sector público fueron destinadas a los energéticos (petróleo, petroquímica básica y electricidad).

En términos reales la producción nacional creció 8.3% alcanzando un PIB de 4'470,077 millones de pesos (a precios de 1980); la producción industrial aumentó a una tasa promedio de 8.7% manifestandose una desaceleración originada por un receso en la expansión de las manufacturas, y presentando un PIB de 1,464,383 millones de pesos. Del mismo modo la industria manufacturera se expandió tan sólo a una tasa de 7%, sobre todo por la suspensión de actividades en algunas ramas manufactureras y al deficiente suministro de energía eléctrica en otros. La fabricación de productos químicos básicos aumentó a una tasa de 7.3% que fué superior a la registrada en 1979 (4.6%); al igual que la producción de abonos y fertilizantes que se incrementó 6.9%, de esta manera el PIB del sector manufacturero fué de 998,900 millones de pesos. 35/

---

34/ Banco de México, *Ibid.*

35/ *Ibid.*

Conviene mencionar que el sector petrolero (extracción, refinación, y petroquímica básica) destacó como uno de los más dinámicos de la economía con una tasa de crecimiento superior a la del año anterior, siendo la extracción la actividad que determinó dicho crecimiento. En su conjunto este sector presentó un PIB de 104,925 millones de pesos del cual 5,820 correspondieron a la petroquímica básica (ver cuadro 2.1.), la cual no reflejó cambios uniformes en la elaboración de los principales productos empleados por el sector industrial y manufacturero sino que presentó aumentos discontinuos en algunos de ellos.

CUADRO 2.1

PRODUCTO INTERNO BRUTO DEL SECTOR PETROLERO (1980 - 1987)

(millones de pesos de 1980)

| ANOS | EXTRACCION | REFINACION | PETROQUIMICA<br>BASICA | TOTAL   |
|------|------------|------------|------------------------|---------|
| 1980 | 81,818     | 17,287     | 5,820                  | 104,925 |
| 1981 | 96,382     | 18,972     | 6,309                  | 122,925 |
| 1982 | 110,863    | 18,244     | 7,910                  | 137,017 |
| 1983 | 107,591    | 17,804     | 9,500                  | 135,395 |
| 1984 | 109,472    | 18,244     | 9,882                  | 138,030 |
| 1985 | 106,609    | 19,454     | 10,278                 | 136,341 |
| 1986 | 99,327     | 19,361     | 11,884                 | 130,572 |
| 1987 | 103,041    | 20,915     | 13,861                 | 137,821 |

FUENTE: Elaborado en base al Sistema de Cuentas Nacionales  
1980 - 1987, SPP.

Así tenemos que la elaboración de productos petroquímicos básicos (PPB) fué de 7'224.000 toneladas, cantidad superior en

13.9% a la del año anterior, con un valor de 5,820 millones de pesos. Siendo los de mayor volumen: El anhídrido carbónico con 2 millones 407 mil toneladas; amoníaco con 1 millón 803 mil ton.; etano con 632 mil ton. y azufre con 402 mil ton., debido a la puesta en operación de la planta de azufre XI en Cactus, Chiapas, contando con una capacidad de producción de 1,300 toneladas por día; también destacó el importante incremento en la producción de acrilonitrilo empleado como base para fibras acrílicas, intermedio para adiponitrilo y como una materia prima para el naylon alcanzando un volumen de 54,000 toneladas. En ese año la capacidad instalada fué de 8 millones 886 mil toneladas de la cual se utilizó el 81.2% como materia prima.

El PIB de la Petroquímica representó el 0.13% en el PIB nacional; en el valor de la producción industrial el 0.39% y un 0.58% en el sector manufacturero.

En 1981 la economía continuó experimentando el fuerte auge iniciado en 1978 con una rápida expansión de la demanda agregada, siendo los factores más importantes del crecimiento de la demanda global, las altas tasas de aumento del gasto público y del gasto de inversión del sector privado. Asimismo se registró una tasa de crecimiento del valor nominal de las exportaciones petroleras cercana al 40%, pero a pesar de ser importante esta magnitud, fué significativamente inferior al promedio de los últimos cuatro años (94%), debido a que hubo una disminución de la demanda mundial de petróleo crudo. El valor de la producción fué de 4'862,219 millones de pesos aumentando 8.7% y tuvo efectos positivos en la inversión. El crecimiento global de la economía

se apoyó en los rápidos incrementos de la producción en casi todos los sectores, entre los que continuaron destacando la industria petrolera, la de la construcción, la eléctrica y la agricultura, aunque el crecimiento de la industria manufacturera fué semejante al de 1980.

El volumen de las importaciones "aumentó notablemente y contribuyó a la expansión del total de bienes y servicios a disposición de la economía, a pesar de que fueron menores las compras al exterior que en años anteriores, y contribuyó para que la producción industrial creciera a una tasa promedio de 8.9% ligeramente superior a la de 1980 como consecuencia del receso en la extracción y refinación de petróleo, mismas que solo aumentaron 21.1 y 11% respectivamente en comparación a 1980, estimándose un crecimiento del PIB de ambas actividades en 16%, registrándose en el sector industrial un Producto Interno Bruto de 1'595,771 millones de pesos. Mientras que la industria manufacturera presentó un crecimiento de 7.7%, sobre todo en las industrias de abonos y fertilizantes, jabones, detergentes y cosméticos, así como en la de productos químicos que influyeron positivamente en el indicador de las materias primas, gracias a que la petroquímica básica se expandió rápidamente en su estructura productiva" 36/ aumentando la elaboración de petroquímicos en 13.9% en relación al año anterior con un volumen de 7 millones 224 mil toneladas (ver cuadro 2.2), gracias

---

36/ Banco de México, "Informe Anual 1981", y Comercio Exterior, "Quinto Informe Presidencial", Vol. XXXI, Núm. 9, México, septiembre de 1981.

a la "normalización en el rendimiento de algunas plantas que entraron en operación en 1980: La de acrilonitrilo en Tula; la de óxigeno-nitrógeno, y la de acetaldehído en la Cangrejera, la de recuperación de azufre en Salina Cruz, la planta de Cosoleacaque VI, y parcialmente las instalaciones de Cactus y Cadereyta. Entre los productos elaborados durante ese año destacaron por sus altas tasas de crecimiento, el acetaldehído con 158.9%, el ciclohexano con 16.2%, el dodecibenceno con 9.8%, mezclas de xilenos con 13.2%, el polietileno alta densidad con 14.9%, y el amoníaco con 15.2%. Debido a lo anterior la producción bruta de petroquímicos fué de 9 millones 159 mil toneladas 26.8% mayor que el año anterior, con un valor de 6,909 millones de pesos". 37/ Sin embargo la producción interna no fué suficiente para satisfacer la rápida expansión de la demanda nacional por lo que fué necesario importar algunos de los principales productos petroquímicos como el polietileno baja densidad del cual se compraron 125,000 ton., estireno 876,000 toneladas, cloruro de vinilo 84,000 ton. y 55,000 toneladas de butadieno, tan necesarios para la industria de la transformación.

En este contexto la petroquímica básica contribuyó con 0.14% en el PIB nacional; y en los sectores industrial y manufacturero con 0.43% y 0.65% respectivamente.

A diferencia de los años anteriores, 1982 y 1983 fueron críticos para la economía y las finanzas del país. Diversos problemas de origen interno y externo provocaron un desplome de

---

37/ PEMEX, "Memoria de Labores 1980 y 1981". PEMEX, México.

la actividad económica, aumentos acelerados en los precios y serias dificultades en la operación de los mercados cambiario y financiero, que provocaron una fuerte contracción en el volumen de transacciones que México realizó con el exterior.

## CUADRO 2.2

### PRODUCCION BRUTA DE PRODUCTOS PETROQUIMICOS EN MEXICO 1975 - 1987 (miles de toneladas)

| ANO  | PRODUCCION<br>BRUTA | CRECIMIENTO<br>ANUAL DE LA<br>PRODUCCION<br>% |
|------|---------------------|---|
| 1974 | 2,978               | -----   |
| 1975 | 3,635               | 22.1%   |
| 1976 | 3,946               | 8.5%  |
| 1977 | 4,200               | 6.4%  |
| 1978 | 5,788               | 37.8%   |
| 1979 | 6,344               | 9.6%  |
| 1980 | 7,224               | 13.9%   |
| 1981 | 9,159               | 26.8%   |
| 1982 | 10,589              | 15.6%   |
| 1983 | 11,264              | 6.9%  |
| 1984 | 10,943              | 2.9%  |
| 1985 | 11,423              | 4.4%  |
| 1986 | 12,025              | 5.3%  |
| 1987 | 13,035              | 8.4%  |

FUENTE : Anuario Estadístico 1986, PEMEX.  
Memoria de Labores 1987, PEMEX.

Por tal motivo el desempeño de la economía en 1982 fué desfavorable para el país, como un ejemplo, los precios al consumidor se elevaron a una tasa de 98.8%, además ciertas estimaciones del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) indicaron que el valor del Producto Interno

Bruto alcanzó 4'831,689 millones de pesos, que en comparación con 4'862,219 en 1981, cayó en 0.2% (ver cuadro 2.3), presentandose tambien cortes en el crédito externo y fugas de capital que disminuyeron la capacidad para importar.

"Se registró un alto ritmo de crecimiento de 1978 a 1981, que contrastó con la crisis de 1982. De 1978 a 1981 el incremento promedio del PIB real fué de 8.4%, siendo posible gracias al impulso del gasto público". 38/ Sin embargo el desajuste económico y financiero de 1982 provocó que el Producto Interno Bruto disminuyera ligeramente en este año, cayendo el volumen de

CUADRO 2.3

PARTICIPACION DE LA PETROQUIMICA BASICA EN EL PIB NACIONAL 1980-1987

(millones de pesos de 1980)

| ANOS | (1)<br>PIB<br>NACIONAL | (2)<br>PIB<br>PETROQUIMICO | (2) / (1)<br>% | (1)<br>INCREMENTO |
|------|------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| 1980 | 4'470,077              | 5,820                      | 0.13%          | ---               |
| 1981 | 4'862,219              | 6,909                      | 0.14%          | 7.7%              |
| 1982 | 4'831,689              | 7,910                      | 0.16%          | 14.3%             |
| 1983 | 4'629,937              | 9,900                      | 0.21%          | 31.3%             |
| 1984 | 4'796,050              | 9,682                      | 0.20%          | 5.2%              |
| 1985 | 4'919,905              | 10,278                     | 0.20%          | ---               |
| 1986 | 4'725,277              | 11,884                     | 0.25%          | 25.0%             |
| 1987 | 4'792,936              | 13,861                     | 0.28%          | 12.0%             |
|      |                        |                            |                | TMCA 11.9%        |

FUENTE: Elaborado en base al Sistema de Cuentas Nacionales 1980 - 1987, SPP.

38/ Véase Michèle Snoeck, op. cit. pp. 37

la producción industrial a una tasa promedio de 1.1%, que contrastó notablemente con el 8.6% alcanzado en 1981. Este descenso se debió fundamentalmente a las reducciones en la producción de las manufacturas y en la industria de la construcción, siendo el PIB industrial de 1'562,834 millones de pesos. Asimismo la producción manufacturera se contrajo a una tasa de 2.4%, mientras que en años anteriores había aumentado de manera casi continua.

De modo similar "el sector petrolero se estancó y la refinación disminuyó 0.6% contrastando notoriamente con el aumento de 12.2% en 1981, y las ventas de gasolina y diesel decrecieron por una disminución en la actividad del sector petrolero y por los aumentos de los precios de estos productos". 39/

Pero a diferencia de lo anterior la industria petroquímica continuó con su ritmo de expansión y registró un 11% de crecimiento que aunque inferior en 5.6% al de 1981 (16.6%) no deja de ser favorable para nuestra economía, esto fue posible gracias a la eficiencia de la planta y a un aumento en la capacidad instalada, destacando en la Cangrejera el arranque de las plantas que integran el grupo de aromáticos para manejar 17 mil barriles diarios de petróleo crudo, y el tren de fraccionamiento de aromáticos para obtener anualmente 275 mil toneladas de benceno, 365 mil de tolueno, 360 mil de mezcla de

---

39/ Banco de México, "Informe Anual 1982". México 1982.

xilenos, 55 mil de ortoxileno y 450 mil toneladas de aromáticos pesados. También en el complejo de Pajaritos, Ver. iniciaron sus operaciones las plantas de Cloración Directa III con capacidad para producir 115 mil toneladas de dicloroetano, Oxiclорación II para obtener 215 mil toneladas al año de dicloroetano, y la de Cloruro de Vinilo III para elaborar 200 mil toneladas anuales de monómero de cloruro de vinilo. Con esto se cubrieron los requerimientos del consumo y se eliminaron en parte las importaciones de estos productos. Permitiendo obtener una producción bruta de petroquímicos de 10 millones, 15.6% mayor que la del año anterior (vease el cuadro 2.2) y que representó un valor de 7,910 millones de pesos, contribuyendo al PIB nacional con 0.16% y al PIB del sector manufacturero (1'023,811 millones de pesos) con el 0.77% del valor, superior al registrado en años pasados (ver cuadro 2.4). Es conveniente aclarar que si se dió esta mayor contribución --por parte de la petroquímica básica-- a la economía se debió sobre todo a la disminución en la producción y crecimiento de los demás sectores económicos.

El desajuste económico experimentado en 1982 continuó repercutiendo durante el transcurso de 1983, el Producto Interno Bruto Nacional alcanzó un total de 4'628,937 millones de pesos, cifra inferior a la de 1981 y 1982. Las estimaciones del INEGI, indicaron que el PIB cayó 4.7%. Siendo este año el segundo consecutivo que registró una disminución del PIB alcanzando el índice más bajo de la presente década. Cabe señalar que la inflación medida por el índice nacional de precios al consumidor fué de 80.8% con un aumento promedio de 101.9% entre 1982 y 1983,

C U A D R O 2 . 4

PARTICIPACION DE LA PETROQUIMICA BASICA EN EL PIB MANUFACTURERO 1980-1987

(millones de pesos de 1980)

|      | (1)<br>PIB | (2)<br>PIB<br>PETROQUIMICO | (2) / (1)<br>% | (1)<br>INCREMENTO |
|------|------------|----------------------------|----------------|-------------------|
| 1980 | 988,900    | 5,820                      | 0.58%          | —                 |
| 1981 | 1'052,660  | 6,909                      | 0.65%          | 12.1%             |
| 1982 | 1'023,811  | 7,910                      | 0.77%          | 18.5%             |
| 1983 | 943,549    | 9,900                      | 1.04%          | 35.1%             |
| 1984 | 990,856    | 9,882                      | 0.99%          | 5.2%              |
| 1985 | 1'050,187  | 10,278                     | 0.97%          | 7.9%              |
| 1986 | 990,468    | 11,084                     | 1.19%          | 22.7%             |
| 1987 | 1'010,086  | 13,861                     | 1.37%          | 15.1%             |
|      |            |                            |                | TUCA 14.57%       |

FUENTE: Elaborado en base al Sistema de Cuentas Nacionales 1980 - 1987, SFP.

a la vez que se registró un superávit de 5,546 millones de dólares en la cuenta corriente de la balanza de pagos, en la cual desde 1955 no se había observado un saldo positivo del resultado de la actividad económica de las operaciones con el exterior. 40/ Se implementó un proceso de ajuste en la economía para enfrentar a la crisis sufrida desde 1982. La caída del producto y el crecimiento de los precios se debieron sobre todo a la magnitud que los desequilibrios macroeconómicos alcanzaron en los últimos meses de 1982. Además los efectos de los tipos de cambio más

40/ Véase Leonor Azcárate, op. cit. y SFP, "Sistema de Cuentas Nacionales, 1983". SFP, México.

elevados con que se iniciaron las operaciones en los mercados libre y controlado --consecuencia del desorden cambiario y del clima de incertidumbre predominante en los últimos meses de 1982 y de la baja en los precios mundiales del petróleo en marzo de 1983--, tuvieron importantes repercusiones sobre la actividad económica presentandose una reducción de la oferta agregada de 7.7% y de igual manera la depreciación cambiaria tuvo consecuencias directas sobre la evolución de los principales agregados macroeconómicos y sobre las finanzas públicas. En este contexto las importaciones representaron sólo 6.2% de la oferta global, mientras que en 1982 y 1981 la proporción fué de 9.2 y 13.7% respectivamente.

Entre los diversos factores que influyeron directamente sobre la producción, las importaciones y los niveles de empleo, el más importante fué sin duda el efecto de las devaluaciones de 1982, que encarecieron bruscamente las importaciones y otros insumos de origen nacional y que reflejaron un alza en los costos de las empresas. Aunque es difícil medirla en forma precisa, la caída de las importaciones es en proporción a años anteriores mucho mayor que la disminución de la producción observada en distintos sectores, lo que nos indica que ocurrió un importante proceso de sustitución de importaciones. Al inicio de 1983 no existían altos inventarios de insumos y otros artículos importados ya que las compras al exterior se vieron restringidas, pero durante el transcurso del año entraron en operación ampliaciones importantes en las industrias petroquímica básica y química básica, que permitieron aumentar la producción y sustituir

importaciones de manera significativa.

No obstante el amplio margen de competitividad que proporcionó la subvaluación del tipo de cambio, y la capacidad ociosa disponible que indujo a empresas industriales y de servicios a buscar la exportación y a sustituir importaciones con producción nacional, la producción interna registró una importante caída en casi todos los sectores.

La producción industrial en su conjunto cayó a una tasa promedio de 7.4%, y la minería disminuyó 2.2% debido a la ligera baja (0.6%) en la extracción de petróleo crudo y gas natural, así como la producción manufacturera disminuyó 7.3% en relación a 1982, no obstante la petroquímica básica tuvo importantes ampliaciones en su planta productiva que le permitieron incrementar su producción a 11 millones 264 mil toneladas, con un valor de 9,900 millones de pesos, participando en el Producto Interno Bruto Nacional con 0.21% superior en mucho a los tres años anteriores. La contribución que la petroquímica básica representó en el PIB Industrial fué de 0.69% mayor que el 0.50% del año anterior (ver cuadro 2.5). Es muy importante señalar que la participación de la P.B. en el sector manufacturero fué superior que a la de los años pasados con una contribución de 1.04% como se podrá ver en el cuadro 2.4.

Durante 1984 la economía mexicana continuó con el proceso de ajuste iniciado el año anterior ante los desequilibrios provocados por la crisis de 1982, empleando para esto un "Programa inmediato de reordenación económica enfocado a

fortalecer la capacidad de la economía para enfrentar la crisis y de cuyas acciones destacaron la renegociación de la deuda pública, la venta de algunas empresas paraestatales y la reducción del déficit del sector público con relación al Producto Interno Bruto". 41/ El crecimiento de la producción y del empleo así como el resultado de la balanza de pagos fueron positivos y alentadores, a pesar de las presiones inflacionarias que se acentuaron.

CUADRO 2.5

PARTICIPACION DE LA PETROQUIMICA BASICA EN EL FIE INDUSTRIAL 1980-1987

(millones de pesos de 1980)

| AÑOS | (1)<br>FIE<br>INDUSTRIAL | (2)<br>FIE<br>PETROQUIMICO | (2) / (1)<br>PARTICIPACION<br>% | (1) /<br>INCREMENTO |
|------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------|
| 1980 | 1'464,280                | 5,820                      | 0.39%                           | ---                 |
| 1981 | 1'595,771                | 8,969                      | 0.56%                           | 19.2%               |
| 1982 | 1'562,654                | 7,910                      | 0.50%                           | 16.3%               |
| 1983 | 1'422,004                | 9,560                      | 0.67%                           | 28.0%               |
| 1984 | 1'490,176                | 9,282                      | 0.62%                           | 5.6%                |
| 1985 | 1'566,877                | 10,275                     | 0.65%                           | 8.5%                |
| 1986 | 1'467,286                | 11,854                     | 0.80%                           | 27.1%               |
| 1987 | 1'501,101                | 13,861                     | 0.92%                           | 15.0%               |
|      |                          |                            |                                 | TMA 14.58%          |

FUENTE: Elaborado en base al Sistema de Cuentas Nacionales 1980 - 1987, SFF.

Los distintos sectores productivos mostraron --aunque con niveles de producción muy bajos-- tasas de crecimiento positivas.

41/ SERAFIN, op. cit. pp. 32

recordemos que desde 1982 estas tasas fueron negativas en la mayoría de los sectores. El desempeño menos favorable se dió en el sector agropecuario, silvícola y pesquero, cuyo producto se incrementó en tan sólo 2.4%, mientras que el sector industrial en su conjunto creció a una tasa promedio de 4.3%, después de haberse reducido en 1.1% y 7.4% en 1982 y 1983 respectivamente.

Por lo que respecta a la industria petrolera ésta elevó su producción en 2.9% con respecto al año pasado, sobre todo por el dinamismo en las exportaciones de productos refinados y la extracción de petróleo y gas natural que en 1983 se redujo 1.5% creció 0.9% en ese año, crecimiento atribuible también al dinamismo de las ventas externas.

Inversamente a lo anterior hubo un estancamiento de la industria petroquímica básica que contrastó con la importante expansión que ha venido experimentando desde 1976 manifestando de esta manera una reducción de 0.81% respecto a 1983, esta situación se debió a problemas de mantenimiento de las plantas petroquímicas ante las dificultades que enfrentaron para abastecerse de refacciones y que originó un deficiente abastecimiento para algunas industrias como la de fertilizantes, la química básica y en menor medida, la de fibras sintéticas. Como consecuencia las importaciones de este sector (el petroquímico) crecieron alrededor del 49% alcanzando un monto de 869 mil toneladas principalmente de cloruro de vinilo (108 mil toneladas), paraxileno (118 mil ton), y estireno (93 mil ton). La producción de amoníaco se contrajo en 6.9% debido a fallas en la generación de energía eléctrica en las plantas de amoníaco, lo

que redujo las ventas externas de este producto en 37.2%. Por lo que toca a los insumos destinados a la industria química básica, la producción de acetaldehído y de tolueno disminuyó en 4 y 3.2 % respectivamente, incrementándose las importaciones de los mismos. En cambio la producción de benceno se incrementó en más del 12% con lo que se dispuso de excedentes que se vendieron al exterior. Los insumos para la industria de fibras sintéticas se redujeron en 4.7%, por lo que se suspendieron sus exportaciones, y se tuvo que realizar importaciones considerables, lo que contribuyó a la reducción en 2.4% en la tasa de crecimiento de la producción de fibras sintéticas. 42/

Por otra parte las alzas en el precio de dodecibenceno, provocaron una reducción en el consumo de este producto con la consiguiente baja en su producción lo que acarreo un estancamiento en la fabricación de jabones y detergentes. Por el contrario las industrias de plásticos y llantas, se vieron apoyadas por la disponibilidad de materias primas. La demanda de la industria llantera una de las más dinámicas en 1984 influyó para que la producción y las importaciones de butadieno y estireno se incrementaran. Las importaciones de estireno fueron mayores ya que en ese año la nueva planta para la elaboración de este producto en la Cangrejera no arrojó los resultados deseados.

De esta manera el Producto Interno Bruto de la petroquímica básica fué de 9,882 millones de pesos ligeramente inferior al de

---

42/ Véase Banco de México, "Informe Anual 1984", y CIDE, "Economía Mexicana", Núm. 5, 1984.

1983 en 0.8% logrando una producción bruta de 10 millones 943 mil toneladas, que fué inferior a la del año anterior en 2.9%. La participación de la petroquímica al PIB nacional (4'796,050) fué de 0.20%, índice ligeramente inferior (0.05%) al de 1983 (vease el cuadro 2.3).

Por lo que toca a 1985 la economía se encausó por el camino de la recuperación observandose importantes avances en el cambio estructural. El empleo registró un aumento significativo y la racionalización de la protección al comercio nacional prosiguió al acentuarse la sustitución de permisos de importación por aranceles, y se adelantó en el proceso de reducción del tamaño del sector público. Pero a pesar de esto el mercado cambiario se mostró inestable, y ciertas actividades económicas fueron desfavorables por el deterioro de los términos de intercambio que sufrió el país en ese año y a una escasa disponibilidad de crédito externo, por tal motivo la inversión y el consumo privados se financiaron con recursos internos, lo que provocó presiones en los mercados financieros y alzas en las tasas de interés internas.

La actividad económica presentó dos fases diferenciables durante el año, "en el primer semestre se acentuó el dinamismo económico experimentado desde finales de 1984 continuando con el proceso de recuperación de la inversión y del consumo interno; la otra fase se caracterizó por una desaceleración en el ritmo de recuperación". 43/ Así tenemos que en la primera mitad del año,

-----  
43/ Véase el Informe Anual del Banco de México, 1985.

el rápido crecimiento del crédito siguió favoreciendo la recuperación de la demanda interna de bienes y servicios y en especial del gasto en inversión bruta fija. El dinamismo de la producción fué determinado por factores que influyeron positivamente sobre la oferta agregada entre los que destacan la creciente disponibilidad de capital de trabajo para las empresas, la existencia de márgenes apreciables de capacidad instalada no utilizada y la reducción del precio relativo de los insumos importados que después de aumentar 9.3% en promedio durante 1983, se redujo 4.1% en 1984 y 7.5% en promedio durante el primer semestre de 1985.

Entre los factores que influyeron en la desaceleración económica presentada durante la segunda mitad del año se encuentran la disminución de las exportaciones originada por la caída del tipo de cambio real en el primer semestre, el deterioro de la balanza de pagos y de las reservas del Banco de México que aunado a los fenómenos inflacionarios afectaron negativamente el ritmo de la actividad económica. 44/

En el terreno cambiario la cotización del peso en el mercado controlado sufrió una devaluación del 20% y el régimen de deslizamiento uniforme que se había venido aplicando desde el 20 de diciembre de 1982 se modificó a partir del 5 de agosto adoptándose en su lugar el régimen de flotación controlada que alcanzó en ese año un valor de \$372.20 por dólar, cifra que

---

44/ Comercio Exterior, "Los Energéticos en México", Banco Nacional de Comercio Exterior, Vol. XXXV, Núm. 10.

representó una depreciación del 93%, mientras que la inflación se elevó a 63.7%.

Sin embargo las actividades industriales mostraron mayor dinamismo destacando la generación de energía eléctrica, la producción manufacturera y la construcción que crecieron 6.9, 5.8, y 2.5% respectivamente. Entre las actividades manufactureras destacó el rápido crecimiento de las industrias de textiles; y de productos metálicos y maquinaria. Mientras que la producción minera sólo creció 1% debido a la contracción que sufrió la industria petrolera, misma que se dio en todas las actividades inherentes a Pemex. La extracción de petróleo se contrajo 0.7%; la petroquímica básica 1.4%; y la refinación 1.1%. Por lo que el PIB del sector petrolero alcanzó un valor de 136,341 millones de pesos, inferior en 0.77% al de 1984 --y que representó una reducción de 1,689 millones--. La petroquímica básica alcanzó un PIB de 10 mil 278 millones de pesos, que a pesar de la contracción sufrida fue superior a la de años anteriores (vease el cuadro 2.1).

La producción bruta de petroquímicos se recuperó favorablemente gracias a la puesta en operación de una gran cantidad de plantas petroquímicas, entre las que sobresalieron la de Azufre en Cadereyta, N.L.; la de polietileno alta presión en la Cangrejera; una criogénica en Cd. Pemex, Tabasco; dos en Nuevo Pemex, Tabasco; la de azufre I y otra criogénica en Pajaritos, Ver., con una capacidad total de 1'152,000 toneladas al año que generaron una producción de 11 millones 423 mil toneladas.

De esta manera el valor del Producto Interno Bruto Nacional creció 2.5%, alcanzando un volumen de 4'919,905 millones de pesos superior tan sólo en 123,855 millones al registrado en 1984. En este contexto la petroquímica básica sólo participó con un total de 0.20%, 386 millones de pesos más que el año pasado. 45/ Por tal razón, la demanda interna de productos petroquímicos no pudo ser satisfecha, y las importaciones casi se duplicaron alcanzando un volumen de 1 millón 188 mil toneladas, siendo el cloruro de vinilo, el estireno, el paraxileno, y el polietileno baja densidad los de mayor demanda.

Pero en el penúltimo año de nuestro estudio el panorama general de la política económica y de la evolución de la economía, se caracterizó por una serie de circunstancias nuevas creadas por la caída del precio del petróleo --en febrero de 1986--, con la consecuente necesidad de modificar el programa económico para ese año. El ajuste de la economía nacional se fundó en la acción interna tanto en lo concerniente a los problemas de fondo como a los circunstanciales, y se reconsideraron las relaciones con el exterior.

Esta modificación del programa implicó una toma de decisiones en el campo de las finanzas públicas y de política crediticia, cambiaria y comercial. Se tomaron medidas de ajuste presupuestal y se continuó con la venta de empresas estatales, se fortaleció así mismo la estructura tributaria y se continuó con

---

45/ INEGI, "Escenarios Económicos 1985". INEGI, y Banco de México, "Informe Anual 1985".

una política realista de precios y tarifas del sector público. En cuanto a la política monetaria prevaleció una restricción crediticia y un manejo flexible de las tasas de interés y del tipo de cambio. "En el aspecto comercial se avanzó en la reducción de los controles cuantitativos a la importación y se firmó el protocolo de adhesión al GATT, facilitándose la participación de la inversión extranjera en campos en que contribuyera a la modernización tecnológica y a la exportación. 46/ En general se promovió la productividad y la eficiencia de las empresas.

Dicha estrategia económica se fundó en el Programa de Aliento y Crecimiento (PAC) que se propuso a la nación en junio de 1986 con el objeto de lograr la recuperación del crecimiento económico en un marco de estabilidad financiera. Con el PAC se le dio mayor prioridad a la inversión pública apoyando el esfuerzo del sector privado así como la reducción del gasto de operación del sector público, siendo una de las acciones iniciales del programa la renegociación de la deuda externa, lográndose con esta una ampliación importante en los plazos de pago y un alivio considerable en los costos financieros.

Se procuró que la escasez de divisas --ocasionada por la caída de los precios petroleros y la poca disponibilidad de financiamiento externo-- no afectara las reservas internacionales del Banco de México. Para enfrentar los efectos inflacionarios de la elevación del tipo de cambio y las presiones sobre las tasas

-----  
46/ Comercio Exterior, "Protocolo de Adhesión al Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT)", Banco Nacional de Comercio Exterior, Vol. XXXVI, Núm. 9.

de interés provocadas por la necesidad de financiar con recursos internos la pérdida petrolera; se optó por una apertura comercial más flexible, se redujo el gasto público programable y se emprendieron diversas acciones tendientes a incrementar los ingresos no petroleros del sector público. A diferencia de lo ocurrido en otras crisis recientes de la balanza de pagos (1975-1976 y 1981-1982), pero no se recurrió a una mayor restricción administrativa de las importaciones, sino que por el contrario se intensificó el proceso de intercambio con el exterior --aspecto clave de la reforma estructural-- que permitió a los exportadores directos e indirectos un acceso continuo y seguro de insumos del exterior.

Es sumamente importante destacar que "para hacer frente a una crisis de balanza de pagos, por fuerte que esta sea, no es necesario ni conveniente recurrir a la limitación administrativa de importaciones ni a la elevación de los aranceles. Si bien estas restricciones desalientan las compras al exterior, simultáneamente perjudican a las exportaciones al dar lugar a un nivel de precios internos superior al de los externos, con lo cual quedan en desventaja los exportadores nacionales en lo que toca a sus costos, a la vez que se ven inducidos a reorientar sus ventas al más redituable mercado interno. El ajuste cambiario es, respecto de las restricciones directas a las importaciones, una opción preferible para corregir un desequilibrio de la balanza de pagos, pues al igual que aquellas desalienta las importaciones, pero lejos de tener un impacto negativo sobre las exportaciones, las favorece decididamente, si una política de ajuste cambiario

se combina con una política fiscal y crediticia que contenga el gasto interno, sera todavia mejor, ya que entoces la devaluación podrá ser menos pronunciada, y su efecto negativo sobre los precios y sobre el producto será menor". 47/

A excepción de la generación de energía eléctrica que creció a una tasa de 4.8%, y de las actividades relacionadas con las exportaciones no petroleras y la sustitución de importaciones; la caída de la producción se extendió a todos los sectores industriales que en conjunto disminuyeron 5.3%; siendo la rama de la construcción la que registró la mayor contracción (12.7%); en tanto que las manufacturas y minería --en la cual tiene gran participación la extracción de petróleo-- cayeron 4.6 y 5.1 % respectivamente.

Recordemos que en 1985 la producción de la industria petrolera disminuyó por segundo año consecutivo como consecuencia de la reducción en la demanda externa y de la desaceleración en la producción de refinados. En 1986 la producción cayó nuevamente en 2% debido a la contracción de las ventas externas, misma que se vio atenuada un poco por la reactivación de la petroquímica básica -- actividad que en los dos años anteriores había estado prácticamente estancada--. La extracción de petróleo crudo y gas fué la actividad que más resintió el desplome del mercado petrolero internacional con una reducción de 54.9% en los precios internacionales del crudo y de 9.5% en el volumen de las ventas

---

47/ Banco de México, "Informe Anual 1986", pp.22

al exterior, al igual que la producción de gas natural que se contrajo 4.8%. El mercado interno que en promedio demandaba el 55% de la producción también estuvo muy deprimido como consecuencia de la reducción de la refinación del petróleo la cual sufrió una baja de 1.7%.

La petroquímica básica se reactivó notoriamente por las labores de mantenimiento y reparación a que se sometió a finales de 1984 y principios de 1985, que permitieron a Pemex utilizar adecuadamente su capacidad instalada e incrementar el índice de superproducción, de tal forma que su nivel promedio en 1986 resultó de 18.5% superior al del año anterior, lo que regularizó al abastecimiento del mercado interno y redujo las importaciones en 29.1%.

La producción de los petroquímicos utilizados en la industria de los jabones y detergentes se aceleró como respuesta a un incremento de 12.7% en la demanda del mercado interno, con el aumento de 67.7% en la producción de dodecibenceno fué posible sustituir importaciones por más de 50 mil toneladas, de manera similar las materias primas para la elaboración de los productos intermedios empleados en la industria de los plásticos también creció considerablemente (30.2%), destacando el cloruro de vinilo con un incremento de 31.8% mismo que permitió acumular inventarios y reducir la importación en 21.5 % y el polietileno de alta densidad que presentó una producción igual a la de 1985, mientras que el de baja densidad se incrementó 51.6%, reduciéndose la importación de éste producto en 36 mil toneladas, 16.7% respecto al año anterior. También la producción

de estireno se incrementó a pesar de que la industria llantera tuvo un comportamiento poco favorable en ese año aunque permitió sustituir importaciones por un monto de 27 mil toneladas. Los productos utilizados en la fabricación de fibras artificiales aumentó 13.7%, dando lugar a una disminución de 59% de las importaciones de óxido de etileno y de ciclohexano. En general con excepción del benceno y del tolueno la producción del resto de los productos petroquímicos utilizados como materia prima para la fabricación de químicos básicos e intermedios (como el acetaldehído, el isopropanol y la mezcla de xilenos) disminuyó de manera considerable. Experimentando la producción de benceno un incremento del 24.2% ya que se utiliza también en la elaboración de algunos petroquímicos básicos como el estireno y el dodecibenceno.

Resumiendo la producción bruta de petroquímicos alcanzó un monto de 12 millones 025 mil toneladas incrementándose 4.4% en relación al año pasado con un PIB de 11 millones 884 mil pesos. Participando en el PIB nacional con 0.25%, mayor que en años pasados. En el sector manufacturero e industrial contribuyó con 1.19 % y 0.80 % respectivamente, superior a la experimentada en años anteriores.

Para finalizar analizaremos la política económica y la evolución de la economía en 1987. El comportamiento de la economía fue muy desigual manifestando en los primeros 9 meses una recuperación gradual y fortaleciendo la balanza de pagos gracias a un superávit de las finanzas públicas y al crecimiento de la intermediación financiera a pesar de que las presiones

inflacionarias provocaron una disminución en la captación del ahorro financiero y originaron cierta inestabilidad en la intermediación institucional, de manera que el colapso bursátil internacional en el último trimestre del año en estudio coincidió con un agolpamiento de los prepagos de la deuda externa privada. De esta manera el mercado cambiario se vió sujeto a fuertes presiones a pesar de que el saldo de la cuenta corriente de la balanza de pagos continuó siendo positivo. Así el aumento de las expectativas de inflación como consecuencia de la crisis cambiaria de 1986 requirió el abandono -en diciembre- del intento de controlar gradualmente la misma y surgió el Pacto de Solidaridad Económica, como un medio para enfrentar ciertas repercusiones inflacionarias como los altos índices de precios al consumidor.

La recuperación de la actividad económica se debió a diversos factores entre los que destacan: El incremento del ingreso real originado por un aumento en el precio internacional del petróleo; la disminución paulatina del tipo de cambio real que redujo el costo relativo de los insumos importados y estimuló el gasto privado; el repunte de la intermediación financiera y finalmente el aumento de las exportaciones. Empezando a obtener beneficios sólidos por la apertura comercial gracias al acceso y abastecimiento de insumos a bajo precio y calidad internacionales, influyeron para que la participación de las exportaciones en el PIB alcanzaran el nivel más elevado de los últimos años. Este repunte económico se manifestó especialmente en la industria, cuya producción se incrementó 2.9% logrando un

PIB de 1'464,383 millones de pesos a precios constantes, lo cual se debió como ya dijimos a la apertura y al mayor comercio con el exterior que permitieron superar con exportaciones la baja demanda interna. Las industrias con mayor crecimiento fueron la minería con 6.9% y la generación de energía eléctrica con 6.6%, en tanto que la producción manufacturera tuvo una mínima recuperación presentando un crecimiento de 2.1% menor al año anterior, con un PIB de 1'010,086 millones de pesos. Esta recuperación de las manufacturas se basó en: un crecimiento del crédito interno en términos reales, una disminución en el costo de la mano de obra, un abasto mejor y más barato de materias primas importadas y una mayor competitividad del sector manufacturero con el exterior como resultado de la depreciación del tipo de cambio real.

Por su parte el sector petrolero experimentó ciertos alicientes, sobre todo por el aumento del 35% del precio medio de exportación del petróleo y del incremento del volumen de 4.4% superior al de 1986 y que originó que la extracción de petróleo se incrementara 4.5% y la producción de petrolíferos 4.8%. El PIB de éste sector en conjunto representó un total de 137,821 millones de pesos, del cual 103,041 correspondieron a la extracción, 20,919 millones al petróleo y derivados y 13,861 millones a la petroquímica básica (vease el cuadro 2.1) misma que mantuvo el dinamismo alcanzado en 1985. Las inversiones en esta actividad se incrementaron de manera significativa y se pusieron en operación las siguientes plantas: una endulzadora y estabilizadora de condensados en Nuevo Pemex, Tabasco, y otra

planta de percloroetileno en la que se produjo percloroetileno con una capacidad nominal de 16,000 toneladas, ácido clorhídrico con 28,600 ton., y ácido muriático con una capacidad de 10,000 toneladas al año. Lo que generó una producción bruta de petroquímicos básicos de 13 millones 035 mil toneladas y un crecimiento de 8.39% respecto a 1986 (vease el cuadro 2.2).

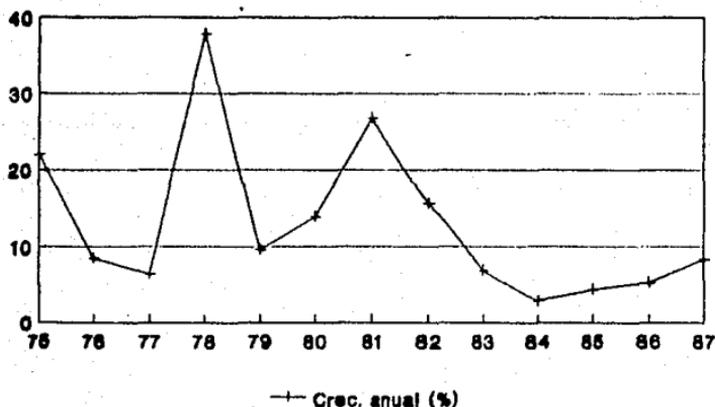
El Producto Interno Bruto del sector petroquímico ascendió a 13,861 millones de pesos y tuvo una participación en el PIB nacional (4'792,936 millones de pesos) de 0.28 %, y en el sector industrial y manufacturero de 0.92 y 1.37% respectivamente, alcanzando las tasas más altas de contribución a la economía desde 1980 y que nos demuestra la importancia que ha venido adquiriendo a través de los años la industria petroquímica en el proceso productivo del país, tanto como productor de insumos como recaudador de ingresos.

Debido a lo anterior y en base al cuadro 2.2 podemos observar en la gráfica # 1 el comportamiento anual de la petroquímica básica desde 1975 hasta 1987 ya que en este lapso toma mayor auge la importancia de la misma. Se observa que a partir de 1976 ésta comienza a presentar un crecimiento sostenido hasta 1978 donde alcanza su nivel máximo de 37.8 %, debido sobre todo a las inversiones canalizadas por el gobierno hacia el sector petrolero; pero en 1979 se presenta una desaceleración en la producción originada por problemas de mantenimiento y por la falta de refacciones en algunas plantas. Sin embargo para 1980 se manifiesta un nuevo crecimiento de esta industria y en 1981 se vuelve a alcanzar un nivel elevado de 26.8% el máximo de la

presente década, pero a partir de 1982 y 1983 se notan síntomas alarmantes de desaceleración registrando un crecimiento reducido de 15.6 y 6.3 % respectivamente, ocasionada fundamentalmente por la crisis económica que sufrió el país en esos años; desaceleración que se hizo más latente en 1984 donde alcanzó el índice de crecimiento más bajo de su historia (2.9%), pero a partir de 1985 empezó a recuperar nuevamente su ritmo de crecimiento, alcanzando en ese año una tasa de crecimiento de 4.4%; ascendiendo en 1986 a 5.3% representando una producción bruta de 12 millones 025 mil toneladas; y para finalizar, en 1987 creció 8.39 % en relación al año anterior con una producción bruta de 13 millones 035 mil toneladas, como se notará este nivel de crecimiento estuvo muy por debajo del alcanzado en 1981 e incluso de 1982.

GRAFICA # 1

**PRODUCCION BRUTA DE PRODUCTOS  
PETROQUIMICOS EN MEXICO, 1975-1987**  
(Miles de toneladas)



Fuente: Anuario Est. 1986, Pemex.  
Memoria de labores 1987, Pemex.

Mencionaremos que a pesar del incremento en la producción bruta de petroquímicos las plantas que se encuentran en operación actualmente (ver apéndice cuadro 2.6) no han funcionado a toda su capacidad e incluso se ha observado una tendencia descendente en la utilización de la capacidad instalada, como se podrá ver en el cuadro 2.7 en 1980 solo se utilizaba el 81.2% de la capacidad instalada, disminuyendo ésta a un nivel crítico de 65.8% en 1985 --como consecuencia de la contracción sufrida por el sector petrolero--, pero a pesar de la disminución de la capacidad utilizada la producción bruta de petroquímicos en ese año fué favorable con un volumen de 11 millones 423 mil toneladas, sin embargo para 1987 la capacidad utilizada se incrementó al 72.5% de la capacidad instalada.

#### CUADRO 2.7

##### PORCENTAJE DE UTILIZACION DE LA CAPACIDAD INSTALADA 1980 - 1987

| ANOS | (1)<br>PRODUCCION DE<br>PETROQUIMICOS<br>(miles de ton.) | (2)<br>CAPACIDAD INSTALADA<br>EN PLANTAS<br>(miles de ton.) | (1)/(2)<br>CAPACIDAD<br>UTILIZADA<br>% |
|------|--|---|--|
| 1980 | 7,224  | 8,886   | 81.2%                                  |
| 1891 | 9,159  | 11,675  | 78.2%                                  |
| 1982 | 10,589   | 14,883  | 71.1%                                  |
| 1983 | 11,264   | 15,038  | 74.9%                                  |
| 1984 | 10,943   | n. d.   | ---                                    |
| 1985 | 11,423   | 17,358  | 65.8%                                  |
| 1986 | 12,025   | 18,025  | 66.7%                                  |
| 1987 | 13,035   | 17,967 *  | 72.5%                                  |

\* Esta cifra es menor que en 1986 ya que no se consideró la producción de pentanos, el cual paso al ámbito de refinación.

FUENTE : Memoria de labores 1980 - 1987, PEMEX.

A continuación analizaremos los índices de productividad de la industria petroquímica producto por producto para ver de esta manera cuál ha sido la participación de los más importantes en la producción total. Este análisis tiene como finalidad proporcionar una lista de los petroquímicos más significativos y de mayor empleo en el proceso productivo del país.

En el cuadro 2.8 (ver apéndice) se presenta una relación de los petroquímicos elaborados por Pemex con su correspondiente producción desde 1980 hasta 1987, observándose que la producción total se incrementó de 7 millones 224 mil toneladas en 1980 a 12 millones 025 mil ton en 1986, y a 13 millones 035 mil toneladas en 1987 con un incremento de 9.6 % que representó un aumento de 1'212,306 toneladas en relación a 1986.

Analizando el volumen de producción resulta que los productos más significativos por su mayor peso cuantitativo (mayor producción) fueron:

- Acetaldehído
- Amoniaco
- Anhidrido carbónico
- Aromaticos pesados
- Azufre
- Benceno
- Cloruro de vinilo
- Dicloroetano
- Dodecibenceno
- Etano
- Etileno
- Hexano
- Metanol
- Meta y para xileno
- Oxido de etileno
- Polietileno alta densidad
- Polietileno baja densidad
- Propileno
- Tolueno

- \* Acido clorhídrico
- \* Aromina 100
- \* Paraxileno

\* Se incluyen por ser importantes en los últimos cuatro años de nuestro estudio.

Lograndose en 1987 incrementos significativos en la producción de algunos productos petroquímicos, tales como: el sulfato de amonio (161.8%), el estireno (74.4%) y el etilbenceno (67.4%) entre otros, (ver cuadro 2.9). Este importante incremento en la producción permitió eliminar totalmente las importaciones de petroquímicos durante ese año (a excepción de 151 mil toneladas de amoniaco que se compraron al exterior), y lograr ciertos excedentes exportables de algunos productos.

Como se puede apreciar los productos aromáticos (benceno, estireno, ciclohexano, mezcla de xilenos, tolueno, ortoxileno, paraxileno y aromáticos pesados) son los que se incrementaron en mayor cantidad, debido que en el complejo petroquímico La Cangrejera se logró aumentar la carga a la estabilizadora de crudo muy por arriba del diseño y que permitió aumentar en la reformadora RTX la producción del grupo de los aromáticos. 48/

Recordemos que los productos petroquímicos son utilizados principalmente en actividades del sector primario y de la industria manufacturera entre otras. A su vez el gas natural y el

---

48/ Véase Memoria de Labores 1987, PEMEX.

petróleo crudo constituyen los insumos básicos --mediante la transformación física-- que dan origen a los petroquímicos fundamentales: etileno, propileno, butadieno, benceno, xilenos, amoníaco, metanol, etc.; de los cuales se derivan --a través de la transformación química-- el polietileno, óxido de etileno, cloruro de vinilo, cloruro de etileno, óxido de propileno, acrilnitrilo, isopropanol, ciclohexano, paraxileno, etilbenceno y estireno entre otros (ver apéndice cuadro 2.10), mismos que se constituyen como los insumos fundamentales de otras empresas. Por lo que es conveniente enlistar los principales productos petroquímicos y sus respectivos empleos en la industria de la transformación y manufacturera, para lo cual los clasificaremos en cinco grupos principales: Derivados del etileno, derivados del acetaldehído, derivados del propileno, principales compuestos de las olefinas C4, y el grupo de los aromáticos (vease apéndice cuadro 2.11). Como se podrá observar los principales derivados del etileno son: el polietileno, el óxido de etileno, el alcohol etílico, el estireno, el dicloroetileno y el acetaldehído, empleados sobre todo por las industrias de plásticos, alcoholes y pinturas. El cloruro de vinilo, el per y tri-cloroetileno, el acetato de vinilo el cloropeno y el acrilnitrilo, constituyen los derivados del acetileno, utilizados para la fabricación de plásticos, como disolventes, pinturas, adhesivos y otras fibras acrílicas. Mientras que los derivados del propileno (alcohol isopropílico, butanol, etil-hexanol, heptanos, propileno-tetrámero, cumeno, óxido de propileno, polipropileno y el glicerol) se emplean como disolventes e intermedios químicos, al igual que se utilizan como plastificantes y alcoholes

plasticidas, el propileno-tetrámero combinado con benceno produce dodecibenceno que se utiliza en la industria de detergentes; sin embargo las principales industrias que absorben estos productos son las plásticas. Los derivados de las olefinas C4 son los n-butanos, iso-butenos y el butadieno, utilizados como insumos básicos para la elaboración de otros petroquímicos, se emplean principalmente como disolventes, alcoholes intermedios, y cauchos sintéticos. Y finalmente los principales aromáticos los constituyen el benceno, el tolueno y los xilenos, también utilizados como materia prima para otros petroquímicos (estireno, ciclohexano, tolueno y mezcla de xilenos), los cuales se destinan sobre todo a las industrias de plásticos, explosivos, fibras poliéster, pinturas, lacas e insecticidas. 49/

Recordemos que en México la industria petroquímica se incorpora a la actividad industrial en la década de los cincuentas, pero su participación se hace notable a partir de 1960 con la creación de una estructura productiva muy importante y cuyo dinamismo le imprimió a la economía un nuevo perfil. Como resultado de esto el consumo de productos petroquímicos en la década de los 70's tuvo una tasa de crecimiento anual de aproximadamente 14 %, lo que significa que se pasó de un consumo de 2 millones 022 mil toneladas en 1970 a 7 millones 231 mil toneladas en 1980. De esta manera en el transcurso de lo que va de la presente década el consumo aparente se incrementó casi al

---

49/ Véase "Petroquímica Básica: Análisis y Expectativas". Instituto Mexicano del Petróleo.

doble (aproximadamente 80 %), de 7 millones 231 mil ton. en 1980 se pasó a 13 millones 024 mil toneladas en 1987 (ver cuadro 2.12). Como se podrá observar al incrementarse la producción total de petroquímicos el consumo aparente también creció gradualmente con la consecuente disminución de las importaciones. Cabe señalar que el monto total de las importaciones decreció de 789 mil toneladas en 1981 a 582 mil toneladas en 1983 pero en 1984 y 1985 se elevaron notablemente como consecuencia de la política restrictiva que se implementó a la petroquímica básica en los años mencionados, alcanzando en 1985 el nivel más alto de las compras de productos petroquímicos al exterior, en total se compraron 1 millón 188 mil toneladas, destacando las compras de polietileno baja densidad (128 mil ton.), paraxileno (179 mil), cloruro de vinilo (162 mil) y estireno (112 mil toneladas). Sin embargo en 1986 disminuyeron a 748 mil toneladas y en 1987 se redujeron totalmente las compras al exterior a excepción de 151 mil toneladas de amoníaco, 3 mil de etilbenceno y 30 mil de otros productos petroquímicos, reduciéndose en total a 184 mil toneladas en ese año (ver cuadro 2.13). Conviene mencionar que gracias a las importaciones se logró equilibrar el consumo aparente nacional, de esta manera en 1985 se pudo cubrir la demanda interna, presentando el consumo aparente 12 millones 372 mil toneladas; creciendo para 1986 a un ritmo de 2.3% y alcanzando un total de 12'584,000 toneladas, mismo que ascendió a 13 millones 024 mil toneladas --con un consumo mínimo de importaciones-- en 1987.

De acuerdo con el cuadro 2.14 (ver apéndice) tenemos que los productos petroquímicos que más se consumieron en el país durante el periodo analizado fueron:

Miles de Tons.

|                   |        |
|-------------------|--------|
| Acetaldehído      | 1,341  |
| Amoniaco          | 13,575 |
| Azufre            | 3,523  |
| Benceno           | 1,242  |
| Cloruro de Vinilo | 1,578  |
| Dicloroetano      | 1,699  |
| Etano             | 13,704 |
| Etileno           | 4,552  |
| Metanol           | 1,324  |
| Meta y paraxileno | 1,476  |
| Paraxilenos       | 1,592  |
| Poliétileno A.D.  | 836    |
| Poliétileno B.D.  | 1,836  |
| Propileno         | 1,546  |
| Tolueno           | 1,794  |

De esta manera nos damos cuenta que la industria petroquímica básica, se ha constituido a través de los años en uno de los pivotes del proceso productivo e industrial de nuestro país, proporcionando los insumos necesarios para la industria de la transformación (vease apéndice, cuadros 1.1. y 2.11.) cubriendo en gran medida la demanda interna para satisfacer el consumo nacional sin depender tanto del exterior y generar también ciertos excedentes de exportación, entre los que destacan el amoniaco y el metanol. Cabe señalar que las exportaciones de amoniaco se redujeron a partir de 1985 alcanzando en ese año 231,000 toneladas en comparación a las 835,000 ton. de 1982, disminuyendo aún más en 1986 y 1987 con un monto de 114,000 y 144,000 tons. respectivamente. Por lo que respecta al metanol sus ventas al exterior se suspendieron totalmente a partir de

1985, incrementándose sin embargo las de los aromáticos, benceno y etileno. De las exportaciones hechas en 1987 destacan como ya mencionamos las ventas de amoniaco con 144,000 tons., las del benceno con 13,000 y las del polietileno con 24,000 tons.. Las ventas totales tuvieron un decremento a partir de 1982, año en el que alcanzó el nivel más alto de ventas al exterior (873,000 toneladas). En 1986 se contrajeron a 187,000 y en 1987 ascendieron a 190,000 tons, muy por debajo del nivel alcanzado en 1982 e incluso en 1980 (vease cuadro 2.15).

En resumen podemos afirmar que la producción de productos petroquímicos básicos se ha incrementado en los últimos años reduciéndose sus importaciones. Consideramos que una mejor forma de planeación económica de la Industria Petroquímica Básica se puede alcanzar mediante la construcción de un Modelo Matemático de Programación Lineal, mismo que trataremos en el siguiente capítulo.

## C A P I T U L O    I I I

### M O D E L O   D E   P R O G R A M A C I O N   L I N E A L

La finalidad de realizar este capítulo obedece a la necesidad de construir un modelo de optimización matemática, enfocado a maximizar la venta de los productos petroquímicos y analizar la comercialización y consumo de los mismos.

Pretendemos que este modelo proporcione opciones de producción y la posibilidad de utilizar adecuadamente los recursos disponibles, mediante una acertada planeación económica, analizando la capacidad productiva de PEMEX para mantener la autosuficiencia en el renglón de la petroquímica básica; así como la comercialización de productos petroquímicos definiendo su rentabilidad de acuerdo a su carácter estratégico como abastecedor de insumos.

Para estructurar nuestro modelo, se revisaron una serie de trabajos que se han resuelto por medio de la programación lineal, no obstante estos se relacionan de cualquier forma con el uso eficiente de una serie de recursos limitados que mediante el empleo de un modelo matemático, expresado como un sistema de desigualdades lineales --dadas en las restricciones de la disponibilidad de recursos-- y una función objetivo también de tipo lineal que se desee analizar se puede maximizar o minimizar los costos o utilidades (Ver anexo E).

A continuación se presentarán las principales etapas que se siguieron para la construcción del modelo, así como la metodología que se utilizó para el análisis de datos.

## 2. CONSTRUCCION DEL MODELO

Es importante recordar que la industria petroquímica básica cuenta con dos materias primas principales para la elaboración de sus productos; el petróleo crudo y el gas natural. En México la industria en general depende de cerca del 80% de los hidrocarburos; la petroquímica sin embargo utiliza el 4.1% del crudo extraído y el 13.2% del gas natural que se produce, de esta manera el 85% de los petroquímicos provienen del gas natural y líquidos, y el 15% restante se obtiene de productos derivados de la refinación del Petróleo. (\*)

Dadas las características de la Industria Petroquímica Básica en cuanto a su proceso de producción se hace necesario en este este capítulo, analizar la elaboración de productos en su conjunto, ya que en el siguiente, su estimación se hará por separado, debido a la complejidad en la obtención de cada uno de ellos y que los coloca dentro de un tipo clase particular de productos químicos. Los principales productos petroquímicos se clasifican en cinco categorías de acuerdo al proceso de producción empleado para su obtención y al tipo de insumo que les da origen, así tenemos:

---

(\*) "Mercado de Valores" año XII, núm. 23, Junio 10 de 1985.

- a) Derivados del Gas Natural
- b) Derivados del Etileno
- c) Derivados del Propileno
- d) Derivados del Butano-Butilenos
- e) Derivados de las Naftas.

A continuación se señalarán las etapas que se siguieron para la construcción del modelo.

#### PRIMERA ETAPA

Consistió en una revisión del proceso de producción en esta industria, ya que cuenta con una gran variedad de plantas petroquímicas en operación y que implica conocer las técnicas de producción empleadas por cada planta, debido a que en ocasiones un producto es elaborado en dos o tres plantas distintas y por lo tanto varía el uso de las materias primas o la manera de procesarlas. Es por ello que utilizaremos criterios de selección de acuerdo al rendimiento óptimo de cada planta y su eficiencia en cuanto a la materia prima de que se dispone.

Por mencionar un ejemplo tenemos el caso del acrilonitrilo, hay dos plantas que se encargan de la elaboración de este producto, una se localiza en Cosoleacaque, Ver. y otra en Tula, Hgo. ambas utilizan la misma materia prima para la elaboración de una unidad de este producto; la primera requiere de 1.58 ton. de propileno y 0.58 ton. de amoníaco, mientras que la segunda utiliza 1.23 ton. y 0.4 ton. respectivamente.

De acuerdo a los criterios antes mencionados se escogerán los indicadores de la planta que utilice menos materia prima en función a su rendimiento óptimo en la elaboración de sus productos.

En esta etapa se analiza de manera general cada una de las clasificaciones que conforman la petroquímica. Así como los insumos exógenos que entraran a nuestro modelo.

a) Derivados del Gas Natural: Están compuestos por gases no licuables y se obtienen por medio de procesos de desintegración. Los productos que se derivan de esta categoría son; Amoníaco, Bióxido de Carbono, Metanol, Acido Sulfídrico, Etano e Hidrógeno.

b) Derivados del Etileno: El etileno es una olefina que sirve como materia prima para obtener una enorme variedad de productos petroquímicos. Como son el Acetaldehído, Acido Cianhídrico, Dicloroetano, Etilbenceno, Óxido de Etileno, Percloroetileno, Polietileno Baja Densidad y el Polietileno Alta Densidad.

c) Derivados del Propileno: Se les clasifica según el propósito al cual vayan destinados, en productos de refinería y productos químicos. Estos son el Cumeno, el Isopropanol y el Acrilonitrilo.

d) Derivados del Butano-Butilenos: La fracción de los hidrocarburos que contienen cuatro átomos de carbón es de vital importancia. A éste se le conoce como la fracción de butilenos y

su producto es el Butadieno.

e) Derivados de las Naftas: Constituyen el grupo de los aromáticos, la obtención de estos es totalmente diferente a las demás y por tanto la estimación de esta parte del modelo se hará por separado como se había mencionado anteriormente. Para producir estos productos se utiliza un proceso denominado desintegración catalítica y son: Aromina, Benceno, Heptano, Hexano, Meta y Paraxileno, Ortóxileno, Paraxileno y Tolueno.

## SEGUNDA PARTE

La segunda parte importante para la construcción del modelo fué la de homogenizar la información referente a los factores de producción, puesto que el tipo de materia prima que se utiliza para elaborar petroquímicos varía de acuerdo al tipo de producto que se desea producir, utilizando como unidad de medida la tonelada.

Posteriormente se realizó una selección de actividades de consumo de materias primas; se eligieron las más significativas y de mayor presentación cuantitativa y cualitativamente para la elaboración de productos petroquímicos.

Realizada la selección de actividades de elaboración de productos petroquímicos y de materias primas consumidas, se realizó una depuración de datos con el objeto de determinar nuestras herramientas de trabajo, específicamente para la metodología y estructura del modelo, obteniendo información como:

- . Precio de los Productos Elaborados
- . Precio de las Materias Primas
- . Costos de Producción
- . Coeficientes de Requerimientos Técnicos

Para lograr esto se manejaron las cantidades precisas de cada uno de los productos tanto elaborados como de materias primas empleadas, logrando como resultado el índice requerido.

## 1. METODOLOGIA DEL ANALISIS DE DATOS PARA EL MODELO

Se analizaron las interrelaciones más idóneas respecto a la optimización de los recursos relacionados entre sí para la elaboración de productos petroquímicos. Estos se representan de la siguiente forma:

a) Según lo anterior, se presentan las actividades de elaboración de productos petroquímicos, que pretenden representar de la mejor manera a la industria petroquímica. Señalaremos que estas actividades tienen características particulares en cuanto al destino que se les puede dar dentro y fuera de la industria, se presenta también la nomenclatura o claves que se utilizaron para identificar cada una de las actividades mencionadas.

Del total de productos petroquímicos (37) podemos observar que para el modelo, 28 de ellos son de demanda final, se elaboran y se consumen directamente; 9 son de demanda intermedia, se procesan y son utilizados como materia prima de otros productos; y finalmente 4 tienen la cualidad de ser utilizados como insumos de otros productos o bien ser consumidos directamente ya sin ningún proceso industrial. Esto se muestra en el cuadro 3.1.:

CUADRO 3.1.

| CLAVE | PRODUCTO ELABORADO  | CONSUMO FINAL | CONSUMO FINAL DEMANDA INTERMEDIA | DEMANDA INTERMEDIA |
|-------|---------------------|---------------|----------------------------------|--------------------|
| ACE   | ACETALDHEIDO        | *****         |                                  |                    |
| ACI   | ACIDO CIANIDRICO    | *****         |                                  |                    |
| ACS   | ACIDO SULFIDRICO    |               |                                  | *****              |
| ACL   | ACRILONITRILLO      | *****         |                                  |                    |
| ALP   | ALQUILARILLO PESADO | *****         |                                  |                    |
| AMN   | AMONIACO            |               | *****                            |                    |
| ARM   | AROMINA             | *****         |                                  |                    |
| AZF   | AZUFRE              | *****         |                                  |                    |
| BNC   | BENCENO             |               | *****                            |                    |
| BIC   | BIOXIDO DE CARBONO  | *****         |                                  |                    |
| BTD   | BUTADIENO           | *****         |                                  |                    |
| BBT   | BUTANO-BUTILENOS    |               |                                  | *****              |
| CLH   | CICLOHEXANO         | *****         |                                  |                    |
| CDV   | CLOURURO DE VINILIO | *****         |                                  |                    |
| CUM   | CUMENO              | *****         |                                  |                    |
| DCE   | DICLOROETANO        |               | *****                            |                    |
| DDB   | DODECILBENCENO      | *****         |                                  |                    |
| ETB   | ETILBENCENO         |               |                                  | *****              |
| ETA   | ETANO               |               |                                  | *****              |
| ETI   | ETILENO             |               |                                  | *****              |
| HID   | HIDROGENO           |               |                                  | *****              |
| HEP   | HEPTANO             | *****         |                                  |                    |
| HEX   | HEXANO              | *****         |                                  |                    |
| ISO   | ISOPROPANOL         | *****         |                                  |                    |
| MET   | METANOL             | *****         |                                  |                    |
| NAF   | NAFTAS              |               |                                  | *****              |
| MPX   | META Y PARAXILENO   | *****         |                                  |                    |
| OXL   | ORTOXILENO          | *****         |                                  |                    |
| OXI   | OXIDO DE ETILENO    | *****         |                                  |                    |
| PCE   | PERCLOROETILENO     | *****         |                                  |                    |
| FAD   | FOLIETILENO A.D.    | *****         |                                  |                    |
| PBD   | FOLIETILENO B.D.    | *****         |                                  |                    |
| FLN   | PROPILENO           |               |                                  | *****              |
| PPL   | PROPANO-PROPILENO   |               |                                  | *****              |
| TTM   | TETRAMERO           |               | *****                            |                    |
| TOL   | TOLUENO             | *****         |                                  |                    |
| EST   | ESTIRENO            | *****         |                                  |                    |

b) Respecto a las materias primas consumidas, se muestran las más representativas en cuanto a su utilidad como insumos para la elaboración de productos petroquímicos en el cuadro 3.2..

CUADRO 3.2.

| CLAVE | MATERIA PRIMA     | DIS.EXO. | DIS.ENDO. | DIS.END. & EXO. |
|-------|-------------------|----------|-----------|-----------------|
| GNT   | GAS NATURAL       | *****    |           | *****           |
| CRD   | CRUDO             | *****    |           | *****           |
| ACS   | ACIDO SULFIDRICO  |          | *****     | *****           |
| AMN   | AMONIACO          |          | *****     | *****           |
| BBT   | BUTANO-BUTILENO   |          | *****     | *****           |
| BNC   | BENCENO           |          | *****     | *****           |
| DCE   | DICLOROETANO      |          | *****     | *****           |
| ETA   | ETANO             |          | *****     | *****           |
| ETI   | ETILENO           |          | *****     | *****           |
| ETB   | ETILBENCENO       |          | *****     | *****           |
| HID   | HIDROGENO         |          | *****     | *****           |
| PPL   | PROPANO-PROPILENO |          | *****     | *****           |
| PLN   | PROPILENO         |          | *****     | *****           |
| TTM   | TETRAMERO         |          | *****     | *****           |
| NAF   | NAFTAS            |          | *****     | *****           |

En este cuadro del total de materias primas consumidas (15); se puede observar que las primeras dos son básicas para el modelo, y para cubrir su demanda el suministro de ellas es exógeno (entendiendo por exógena, aquella materia prima que entra del exterior al sistema, es decir, que no se genera dentro del mismo para cubrir los requerimientos para la producción). Por otro lado, existen materias primas que se pueden generar dentro del modelo, y así cubrir su demanda como insumo para la producción de otros petroquímicos, por supuesto, no impide que también ese tipo de materias primas se pueda suministrar exógenamente una determinada cantidad adicional para la producción. Esto se ilustra en el cuadro de la última columna, correspondiente a la disponibilidad exógena y endógena que entrar al modelo que se computó.

Finalmente la materia prima MGNT (Gas natural) y MCRD (Petróleo Crudo) que se incorporaron exógenamente al modelo constituyen el suministro más importante, ya que es la materia prima por la que compiten los diferentes productos elaborados que requieren de ella. Conforme a la técnica utilizada se puede ilustrar las relaciones entre los diferentes productos y materias primas de nuestro modelo. (Vease Matriz de Insumo Producto, pag. 96).

### 3. FORMULACION Y DEFINICION DE LOS PARAMETROS ESTRUCTURALES

En el modelo se tienen dos tipos de parámetros estructurales, constituidos por los diferentes tipos de requerimientos técnicos de materia prima exógena o bien endógena.

a) Los parámetros estructurales de requerimientos técnicos de materia prima exógena, señalan la cantidad de materia prima que se requiere del exterior por cada unidad de producto elaborado se encuentran; el petróleo crudo y el gas natural.

b) En cuanto a los parámetros estructurales de requerimiento de un producto elaborado para la elaboración de otro, se entiende que existen algunos productos petroquímicos que a pesar de que ya fueron procesados. pueden constituir un insumo para otros petroquímicos. Los productos con estas características son: el amoniaco, dicloroetano, benceno y tetramero.

c) Para realizar esta actividad y obtener los coeficientes de requerimientos técnicos, en un principio fué necesario realizar un análisis cuantitativo con el fin de obtener con mayor exactitud dichas cantidades de materia prima requerida por unidad de producto elaborado. Fué necesaria la ayuda de personas

especializadas en la materia, que nos ayudaron a realizar un análisis técnico muy preciso en cuanto al procesamiento de los diversos productos y al calculo de todos los coeficientes técnicos, mismos que fueron proporcionados por PETROLEOS MEXICANOS, a través de la Gerencia de Tecnología de la Subdirección de Transformación Industrial.

#### 4. FORMULACION DE LA FUNCION OBJETIVO

a) Sobre la base de realizar un modelo de planeación económica dentro de actividades muy importantes de producción y consumo, con el fin de evaluar la optimización de recursos que inciden en el proceso productivo, se formuló alcanzar un límite máximo --con restricciones del consumo de materias primas y su disponibilidad hacia la industria petroquímica básica-- de la venta de todos los productos petroquímicos procesados, que son para el consumo final.

Este valor máximo corresponde al flujo de ingresos obtenidos por la realización de los productos elaborados en el mercado para el consumo final. Tal valor está constituido por las cantidades producidas, correspondientes a cada producto, multiplicado por su respectivo valor o precio de mercado.

b) A las ventas se les sustrajo el valor de todos los costos que inciden en la elaboración de los productos petroquímicos. Los costos que se estimaron para restarlos al valor de las ventas y obtener el valor neto de tal función son:

. Los costos de las materias primas consumidas, es decir el precio de la materia prima consumida multiplicada por la cantidad utilizada para la elaboración de un determinado producto.

. Los costos implícitos de la producción, son los costos del procesamiento industrial, generado a partir de los precios de las materias primas, ya que en este modelo solo se incluyen tales recursos.

La función objetivo se caracteriza por lograr la mejor utilización de los recursos escasos disponibles, las mejores opciones de producción para consumo final y por lo tanto la venta. Por los estudios anteriores de planeación económica, que arrojaron resultados de gran utilidad por su solo carácter de construir una forma de producción y de venta planeadas que resguardan el interés social y el beneficio económico, este trabajo, de alguna manera planea dicho objetivo cuantitativo: Maximizar la venta de toda la industria petroquímica básica, con el propósito de evaluar las interrelaciones de producción existentes entre los productos elaborados y las materias primas consumidas en tal industria, y no precisamente con el fin de realizar una evaluación absoluta que cuantifique potencialmente las actividades de elaboración de productos petroquímicos.

## 5. RESTRICCIONES DEL MODELO Y ECUACIONES DE BALANCE

a) Con el propósito de optimizar los recursos, las restricciones del modelo se formularon para ilustrar lo que sucede con cierta cantidad disponible de materia prima, lo cual parece ser más preciso, en cuanto al planteamiento del instrumento utilizado, debería de satisfacer un cierto nivel de requerimientos, que a su vez iban a depender de la existencia o suministro de materias primas incorporadas al modelo.

b) En lo que respecta a las ecuaciones de balance, estas nos permiten realizar, por un lado, la transferencia de un producto elaborado que tiene un destino endógeno, es decir, que será materia prima de otro petroquímico: por medio de estas ecuaciones se puede estructurar de una manera más completa el comportamiento de la industria petroquímica básica para el procesamiento técnico de tales productos: ya que como podemos verificar muchos de los derivados del etileno son elaborados a partir de materia prima endógena, como por ejemplo: el óxido de etileno, el acetaldehído, el etilbenceno, el polietileno alta y baja densidad, ect., que son productos que pueden ser consumidos directamente, sin otro procesamiento industrial.

Es importante señalar que en las ecuaciones de balance, que entraron al modelo que se computó, se introdujeron en una misma ecuación el destino endógeno y/o exógeno de los productos elaborados.

Obtenidos todos los datos requeridos para la formulación del modelo, se continuó a esquematizar la información cuantitativa en una matriz de Insumo-Producto que presenta las interrelaciones entre las diversas actividades, logrando con ello una mejor conceptualización de la aplicación de la programación lineal, que como se puede observar tiene la conveniencia de presentar de una manera sencilla y fácil de entender las relaciones existentes en el procesamiento industrial de la industria petroquímica básica para la obtención de petroquímicos.

Antes de presentar la matriz de relaciones técnicas de consumo y producción; así como la presentación cuantitativa de la función objetivo, pasaremos a la formulación matemática del modelo.

## 6. REPRESENTACION MATEMATICA DEL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL PARA LA INDUSTRIA PETROQUIMICA BASICA

### A) DEFINICION DE VARIABLES Y PARAMETROS ESTRUCTURALES:

En lo que corresponde a las variables que fueron utilizadas en el modelo, podemos dividir las por su carácter endógeno y exógeno.

#### VARIABLES EXOGENAS

- $P_j$  ---- Precio o índice de precios para el producto  $j$  destinados al consumo final.
- $C_j$  ---- Costos implícitos por unidad de producción para la obtención de un determinado producto  $j$ .
- $S_k$  ---- Precio o índice de precios para la materia prima  $k$ .
- $\overline{MPK}$  ---- Disponibilidad de materia prima  $k$ .

#### VARIABLES ENDOGENAS

- $C' j$  ---- Consumo del producto elaborado  $j$ .
- $X_j$  ---- Producción total del producto  $j$ .
- $\overline{MPK}$  ---- Insumo o materia prima total, consumida por una parte del conjunto de productos elaborados.

B) Los PARAMETROS ESTRUCTURALES que conformaron el modelo, quedaron constituidos por los siguiente coeficientes técnicos de requerimiento:

$\beta_{kj}$  ---- Requerimiento de materia prima k para la obtención de producto j'.

$\alpha_{jj'}$  ---- Requerimiento de producto elaborado j para la elaboración de producto j'.

### C) FUNCION OBJETIVO.

Como ya se mencionó anteriormente la función objetivo del modelo pretende maximizar el valor de las ventas de los productos petroquímicos. Considerando que el valor neto de las ventas es la diferencia obtenida de los ingresos, por la venta de los productos elaborados j; que constituyen los derivados de la industria petroquímica básica y son de consumo final,  $(P_j \cdot C'_{j'})$  menos los costes implícitos de la producción  $(C_j \cdot X_j)$ , menos los precios de la materia prima  $(S_k \cdot MPR_k)$ .

La FORMA MATEMATICA de la función objetivo es:

$$\text{MAX } V = \sum_{j \in J} P_j \cdot C'_{j'} - \sum_{j \in J} C_j \cdot X_j - \sum_{k \in K} S_k \cdot MPR_k$$

Donde:

- V ---- Valor de las ventas netas.
- $P_j$  ---- Precio del producto elaborado j.
- $C'_{j'}$  ---- Consumo final del producto j'.
- $C_j$  ---- Costo implícito de producción.
- $X_j$  ---- Producto elaborado.
- $S_k$  ---- Precio de la materia prima.
- $MPR_k$  ---- Consumo total de la materia prima k.

#### D) RESTRICCIONES AL MODELO.

Las restricciones al modelo se aplicaron sobre las ofertas estimadas de materia prima, donde la utilización de una determinada cantidad de esta para la producción debe ser menor o igual a su disponibilidad.

La FORMULACION MATEMATICA de dichas restricciones es:

$$\sum_{j=1}^J \beta_{kj} \cdot X_j < \overline{MPk} \quad \text{para } k = 1, 2, \dots, k$$

Donde:

- $\overline{MPk}$  ---- Disponibilidad de materia prima k.
- $X_j$  ---- Producción de j.
- $\beta_{kj}$  ---- Requerimientos de materia prima k para la elaboración de j.

### E) ECUACIONES DE BALANCE:

Las ecuaciones de balance que entraron al modelo fueron las ecuaciones de transferencia. Donde la producción de un producto (  $X_j$  ) determinado, tiene un destino endógeno establecido por otros productos elaborados (  $X_j'$  ); o bien, exógeno, es decir, de consumo final (  $C_j$  ).

La FORMULACION MATEMATICA de estas ecuaciones es:

$$C_j + \sum_{i=1}^M a_{ij} X_j' - X_j \leq 0 \quad \forall j$$

Donde:

$C_j$  ---- Consumo final del producto  $j$ .

$a_{ij}$  ---- Requerimiento del producto elaborado  $j$ .

$X_j$  ---- Producto elaborado  $j$ .



C A P I T U L O    I V

PLANEACION Y DESARROLLO

El modelo desarrollado aquí tiene como objetivo simular los procesos de transformación de materias primas de los productos petroquímicos básicos. No obstante, para nuestro caso es necesario estimar el modelo en dos etapas ya que el proceso de elaboración de los petroquímicos es muy complejo. En la primera etapa se encuentran los derivados del Gas natural, los derivados del Etileno, los derivados del Propileno y los derivados del Butano-Butilenos. Los productos que se obtienen de estas derivaciones poseen características más o menos particulares que nos permiten englobarlos en un grupo específico. En la segunda etapa, se encuentran los derivados de las Naftas, su proceso de producción varía en comparación con los demás productos. Tal proceso ya fue explicado en el capítulo anterior y representa la conversión de materias primas en productos elaborados, de los cuales una parte se destina a la venta final y otra como materia prima para obtener otros productos. El paquete que se utilizó para la resolución de nuestro modelo fue el LINDO (Ver apéndice B).

A continuación se dará la solución básica para la estimación del modelo. En la primera etapa se obtendrán los resultados y la explicación de cada uno de sus componentes. En la segunda etapa, únicamente señalaremos los resultados.

## SOLUCION BASICA

### A) PRIMERA ETAPA

Los productos derivados del gas natural, del etileno, del propileno y del butano-butilenos, arrojaron un valor en su función objetivo de \$'885,091.00. Este monto representa el valor máximo de los costos de producción y ventas de los productos elaborados a partir de una disponibilidad de 2'551,000 toneladas de gas natural. La venta de los productos elaborados se conforma como sigue:

| PRODUCTO | VOLUMEN     | VALOR       | %        |
|----------|-------------|-------------|----------|
| CALN     | 55.172420   | 1441.000000 | 0.013%   |
| CAMN     | 19.083970   | 264.000000  | 0.00085% |
| CAZF     | 13.333330   | 93.000000   | 2.1%     |
| CBTD     | 919.468620  | 1525.000000 | 0.23%    |
| CC LH    | 204.123700  | 1525.000000 | 0.05%    |
| CISP     | 148.561200  | 646.000000  | 0.016%   |
| CPAD     | 460.526300  | 1540.000000 | 0.12%    |
| CPBD     | 2084.818000 | 1540.000000 | 0.7%     |

En el cuadro anterior se puede observar la ventaja relativa del Polietileno Baja Densidad y del Butadieno, ésta última representa en menor medida, tanto en términos de conversión física como de densidad económica con respecto a los demás productos.

Para mostrar la forma en que estas ventajas comparativas se dan presentaremos la siguiente gráfica:

GRAFICA DE VENTAJAS COMPARATIVAS

| PRODUCTO DESTINADO<br>A LA VENTA             | COEFICIENTES<br>TECNICOS |
|--|--------------------------|
| CAMN=19.083970----->PAMN=19.083970----->     | 0.35-----> R2=6.68       |
|  | 2.62-----> R27=50.00     |
| CAZF=13.333330----->PAZF=13.333330----->     | 1.5-----> R4=19.99       |
| CPBD=2048.818000----->PPBD=2048.818000-----> | 1.12-----> R13=233.87    |
| CPAD=460.526300----->PPAD=460.526300----->   | 1.10-----> R13=506.57    |
|  | 0.002-----> R44=.92      |
| CCLH=204.123700----->PCLH=204.123700----->   | 0.97-----> R36=197.99    |
| CISP=148.561200----->FISP=148.561200----->   | 0.76-----> R44=112.90    |
| CALN=55.172420----->PALN=55.172420----->     | 0.58-----> R07=32.00     |
|  | 1.58-----> R44=87.17     |
| CBTD=919.486200----->PBTD=919.486200----->   | 1.71-----> R31=1572.32   |

PRODUCTO DESTINADO AL  
CONSUMO INTERMEDIO

|                    |                    |             |
|--------------------|--------------------|-------------|
| PBBT = 1572.321000 | MBBT = 1572.321000 | 1.12 = R29  |
| PETA = 1696.214000 | META = 1696.214000 | 1.5 = R2    |
| PETI = 2166.575000 | METI = 2166.575000 | 1.304 = R11 |
| PTTM = 4.605263    | MTTM = 4.605263    | 6.08 = R42  |

MATERIA  
PRIMA

De acuerdo a la gráfica se observan 8 productos que se destinan a la venta en el siguiente orden de importancia:

1. Elaboración de Amoniaco (CAMN).- Las 19.99 toneladas se obtuvieron a partir del procesamiento de:

- 6.68 toneladas de Gas Natural (MGNT), materia prima exógena que se incorporó al modelo.
- 50.00 toneladas de Propileno (MPLN), materia prima que se encontraba disponible en el modelo.

2. Elaboración de Azufre (CAZF).- Las 13.33 toneladas se obtienen a partir del procesamiento de 19.99 toneladas de Gas Natural (MGNT), materia prima exógena que entra al modelo.

3. Elaboración de Polietileno Baja Densidad (CPBD).- Las 2084.81 toneladas se obtuvieron a partir del procesamiento de 233.87 toneladas de Etileno (METI), materia prima que se encontraba disponible en el modelo.

4. Elaboración de Polietileno Alta Densidad (CPAD).- Las 460.526 toneladas se obtuvieron a partir del procesamiento de:

- 506.57 toneladas de Etileno (METI) materia prima que se encontraba disponible en el modelo.
- 0.92 toneladas de propileno (MPLN) materia prima que se encontraba disponible en el modelo.

5. Elaboración de Ciclohexano (CCLH).- Las 204.12 toneladas se obtienen mediante el procesamiento de 197.99 toneladas de Etileno (METI), materia prima que se encontraba disponible en el modelo.

6. Elaboración de Isopropanol (CISP).- Se produjeron 148.561 toneladas que se obtuvieron del procesamiento de 197.99 toneladas de propileno (MPLN), materia prima que se encontraba disponible en el modelo.

7. Elaboración de Acrilonitrilo (CALN).- Se elaboraron 55.17 toneladas mediante el proceso de:

- 32 toneladas de Amoniaco (MAMN), materia prima endógena, (disponible en el modelo).
- 87.17 toneladas de Propileno (MPLN), materia prima que también se encontraba disponible en el modelo.

8. Elaboración de Butadieno (CBTD).- Las 919.48 toneladas se elaboraron procesando 1,572.32 toneladas de Petroleo Crudo (MCRD), materia prima exógena, que se incorpora del exterior al modelo.

Después de lo anterior se puede observar que de los 2'551,000 toneladas de gas natural, como materia prima, se canalizaron como sigue:

- 1,696 toneladas de Etano para la elaboración de Etileno.
- 2,166 toneladas de Etileno para la elaboración de acetaldehído.

Las ventajas anteriores son importantes en función del beneficio relativo de un producto con respecto a otro en el uso de las materias primas y en la descripción de las interrelaciones de los productos y materias primas entre sí.

A partir de aquí se elaborará un análisis de sensibilidad, muy preciso en cuanto a la exactitud de la información utilizada y su incorporación al modelo, este se realizará en función del modelo básico descrito con anterioridad. A continuación presentaremos los componentes del mencionado análisis.

### PRECIO SOMBRA

El precio sombra va a ser el cambio que sufra el valor de la función objetivo, si se incrementa en una unidad el valor de las RHS, es decir, las restricciones sobre la disponibilidad de materia prima. Los precios sombra del modelo fueron los siguientes:

| <u>RESTRICCION</u> | <u>VALOR</u>  |
|--------------------|---------------|
| R02-----           | 715.973700    |
| R03-----           | 65.666670     |
| R04-----           | 63.866670     |
| R05-----           | 93.000000     |
| RC6-----           | 264.000000    |
| R07-----           | 165.766600    |
| R08-----           | 441.000000    |
| R09-----           | 100.000000    |
| R10-----           | -1,070.861000 |
| R11-----           | -1,068.361000 |
| R12-----           | -1,389.082000 |
| R13-----           | -1,385.982000 |

| <u>RESTRICCION</u> | <u>VALOR</u>  |
|--------------------|---------------|
| R14-----           | 671.000000    |
| R15-----           | 807.000000    |
| R16-----           | 549.691800    |
| R17-----           | 547.691800    |
| R18-----           | 865.000000    |
| R19-----           | 558.822100    |
| R20-----           | 556.322100    |
| R21-----           | 646.000000    |
| R22-----           | 819.000000    |
| R23-----           | 824.000000    |
| R24-----           | 1,540.000000  |
| R25-----           | 1,540.000000  |
| R26-----           | 10.190540     |
| R27-----           | 5.690538      |
| R28-----           | 343.000000    |
| R29-----           | 802.780700    |
| R30-----           | 897.444400    |
| R31-----           | 894.444400    |
| R32-----           | 1,525.000000  |
| R33-----           | 53.737760     |
| R34-----           | 58.737760     |
| R35-----           | 1,580.820000  |
| R36-----           | 1,577.320000  |
| R37-----           | 38,741.220000 |
| R38-----           | 1,525.000000  |
| R39-----           | 699.000000    |
| R40-----           | 1,179.000000  |
| R44-----           | 433.131000    |
| R42-----           | 428.631000    |
| R43-----           | 858.921100    |
| R44-----           | 855.921100    |
| R45-----           | 646.000000    |
| R46-----           | 2,602.776000  |
| R47-----           | 2,600.776000  |
| R48-----           | 7.500000      |
| R49-----           | 3.500000      |

Como se puede observar las restricciones que contribuyeron con mayores volúmenes sobre el valor de la función objetivo, por medio de los precios sombra son:

| <u>RESTRICCION</u> | <u>VALOR</u>  |
|--------------------|---------------|
| R37-----           | 38,741.220000 |
| R46-----           | 2,602.776000  |
| R47-----           | 2,600.776000  |
| R35-----           | 1,580.820000  |
| R36-----           | 1,577.320000  |
| R24-----           | 1,540.000000  |
| R32-----           | 1,525.000000  |

RESTRICCIONVALOR

|          |              |
|----------|--------------|
| R08----- | 1,441.000000 |
| R13----- | 1,385.982000 |
| R08----- | 1,441.000000 |

Entendiendo entonces que las materias primas estratégicas dentro de la disponibilidad para la elaboración de productos petroquímicos es el gas natural y el petróleo crudo, son importantes ya que un mayor empleo de esta materia prima causaría un incremento considerable al valor de las ventas del sistema.

COSTOS REDUCIDOS

Los costos reducidos son aquellos precios sombra para las variables que se introduzcan al modelo. Se entiende por el costo reducido, el cambio que ha experimentado el valor de la función objetivo si en lugar de  $X_1, X_2, \dots, X_n = 0$ , es decir las restricciones de no negatividad, tomaran el valor de  $X_1, X_2, \dots, X_n = 1$ . Esto para aquellas variables que no aparezcan en la solución factible u óptima. Para ello tales cambios son; decrementos en la función objetivo.

Es importante señalar que los cambios en las restricciones de no negatividad se realizan independientemente, es decir, que el costo reducido por cada variable se da bajo el supuesto que las demás restricciones permanecen constantes. Los costos reducidos en el modelo básico son:

| <u>VARIABLE</u> | <u>COSTO REDUCIDO</u> |
|-----------------|-----------------------|
| CALP-----       | 37,300.220000         |
| CFNC-----       | 1,077.820000          |
| CDCE-----       | 135.691800            |
| CTTM-----       | 2,208.776000          |
| FACE-----       | 819.03090             |
| PACI-----       | 601.351800            |
| PACS-----       | 683.605700            |
| PBIC-----       | 1,257.250000          |
| PCUM-----       | 673.128700            |
| PDCE-----       | 848.150200            |
| PDDB-----       | 438.618800            |
| PETB-----       | 1,273.187000          |
| PHID-----       | 717.102600            |
| PMET-----       | 575.606000            |
| PNAF-----       | 1,940.714000          |
| POXE-----       | 456.313400            |
| PPCE-----       | 579.871800            |
| PPLN-----       | 510.708100            |
| PPPL-----       | 2,374.932000          |
| MAMN-----       | 95.733350             |

Se puede observar que los aportes más significativos sobre el valor de la función objetivo con respecto a los costos reducidos son en las siguientes variables:

|           |               |
|-----------|---------------|
| CALP----- | 37,300.220000 |
| PPPL----- | 2,374.000000  |
| CTTM----- | 2,208.776000  |
| FNAF----- | 1,940.714000  |
| PETB----- | 1,273.000000  |
| MAMN----- | 95.733350     |

Tales variables como podemos apreciar para fines de lograr una maximización no son convenientes para realizar cambios en lo que respecta a su restricción de no negatividad.

Por otro lado, de las variables que tienen los costos reducidos, las que menor influencia tienen sobre el valor de la función objetivo son las materias primas, ya que sus valores con excepción de la materia prima amoniaco (MAMN) son menores a uno.

## RANGOS PARA LOS COEFICIENTES DE LA FUNCION OBJETIVO

En seguida se presentarán los valores para cada uno de los coeficientes de las variables que constituyen la función objetivo, tales valores estarán dados entre la cota inferior y una cota superior. Este rango para cada variable tiene como objetivo dar el campo de variación del valor del coeficiente sin que el valor de la función tenga variación alguna.

| <u>VARIABLE</u> | <u>VALOR</u> | <u>COTA INFERIOR</u> | <u>COTA SUPERIOR</u> |
|-----------------|--------------|----------------------|----------------------|
| CACE            | 671.000000   | 819.030900           | 671.000000           |
| CACI            | 807.000000   | 601.351800           | 807.000000           |
| CALN            | 1,441.000000 | 65.525340            | 96.144550            |
| CALP            | 1,441.000000 | 37,300.220000        | INFINITO             |
| CAMN            | 264.000000   | 1,878.809000         | 14.909210            |
| CAZF            | 93.000000    | 1,025.408000         | 93.000000            |
| CBNC            | 503.000000   | 1,077.820000         | INFINITO             |
| CBIC            | 100.000000   | 1,257.250000         | 100.000000           |
| CBTD            | 1,525.000000 | INFINITO             | 1,299.563000         |
| CCLH            | 1,525.000000 | 50,827.300000        | 946.282300           |
| CCDV            | 865.000000   | 1,348.000000         | 215.750000           |
| CCUM            | 699.000000   | 673.128700           | 699.000000           |
| CDCE            | 414.000000   | 135.691800           | INFINITO             |
| CDDB            | 1,179.000000 | 438.618800           | 1,179.000000         |
| CISP            | 646.000000   | 46.246800            | 26.708390            |
| CMET            | 343.000000   | 575.606000           | 343.000000           |
| COXE            | 819.000000   | 456.313400           | 819.000000           |
| CPCE            | 824.000000   | 579.871800           | 824.000000           |
| CPAD            | 1,540.000000 | 144.395800           | 9.703453             |
| CPBD            | 1,540.000000 | 9.879880             | 147.021200           |
| CTTM            | 394.000000   | 2,208.776000         | INFINITO             |
| CEST            | 646.000000   | 1,502.361000         | 646.000000           |
| PACE            | 6.830000     | 819.030900           | INFINITO             |
| PACI            | 5.350000     | 601.351800           | INFINITO             |
| PACS            | 2.500000     | 683.605700           | INFINITO             |
| PALN            | 7.500000     | 55.525340            | 96.144650            |
| PALP            | 4.300000     | 37,300.220000        | INFINITO             |
| PAMN            | 1.500000     | 1,878.809000         | 14.909210            |
| PAZF            | 2.800000     | 1,025.408000         | 95.800000            |
| PBNC            | 5.100000     | 52,399.280000        | 1,535.920000         |
| PBIC            | 3.100000     | 1,257.250000         | INFINITO             |
| PBTD            | 4.500000     | INFINITO             | 1,299.563000         |
| PBBT            | 1.670000     | INFINITO             | 759.973100           |
| PCLH            | 5.000000     | 50,827.300000        | 946.282300           |

| VARIABLE | VALOR     | COTA INFERIOR | COTA SUPERIOR |
|----------|-----------|---------------|---------------|
| PCDV     | 5.830000  | 1,348.559000  | 215.750000    |
| PCUM     | 7.235000  | 673.129700    | INFINITO      |
| PDCE     | 2.000000  | 848.150200    | INFINITO      |
| PDOB     | 6.300000  | 438.618800    | INFINITO      |
| PETB     | 7.200000  | 1,273.187000  | INFINITO      |
| PETA     | 3.100000  | 63.896610     | 699.309300    |
| PETI     | 4.060000  | 83.321180     | 872.799400    |
| PEST     | 10.460000 | 1,502.361000  | 656.460000    |
| FHID     | 3.000000  | 717.102600    | INFINITO      |
| PISP     | 4.500000  | 46.246800     | 26.708390     |
| PMET     | 5.000000  | 575.606000    | INFINITO      |
| PNAF     | 2.500000  | 1,940.714000  | INFINITO      |
| FOXE     | 13.650000 | 456.313400    | INFINITO      |
| PPCE     | 9.830000  | 579.871800    | INFINITO      |
| PPAD     | 12.300000 | 144.395800    | 9.703453      |
| PPBD     | 12.300000 | 9.879880      | 147.021200    |
| PPLN     | 1.990000  | 510.708100    | INFINITO      |
| PPFL     | 1.670000  | 2,374.932000  | INFINITO      |
| PTTM     | 3.300000  | 14,439.580000 | 970.345300    |
| MGNT     | 7.500000  | INFINITO      | 7.500000      |
| MCRD     | 3.500000  | INFINITO      | 3.500000      |
| MBBT     | 3.000000  | INFINITO      | 759.978100    |
| MBNC     | 3.500000  | 52,399.260000 | 1,077.820000  |
| MDCE     | 2.000000  | 848.150200    | 135.691800    |
| META     | 2.500000  | 63.896610     | 669.309300    |
| METI     | 3.100000  | 83.321180     | 872.799400    |
| METB     | 2.500000  | 1,273.187000  | 558.822100    |
| MACS     | 1.800000  | 683.605700    | 65.666670     |
| MHID     | 4.000000  | 717.102600    | 10.190540     |
| MNAF     | 5.000000  | 1,940.714000  | 63.737780     |
| MAMN     | 2.500000  | 95.733350     | INFINITO      |
| MFLN     | 3.000000  | 510.708100    | 858.992110    |
| MPFL     | 4.500000  | 2,374.932000  | 433.131000    |
| MTTM     | 2.000000  | 14,439.580000 | 970.345300    |

**RANGOS PARA LOS COEFICIENTES DE LOS LADOS DERECHOS  
DE LAS RESTRICCIONES**

La variación que tengan las restricciones cumple bajo el intervalo de la cota inferior y la cota superior el valor de la función objetivo permanece constante. En seguida se presentarán los rangos para cada una de las restricciones.

| <u>RESTRICCION</u> | <u>VALOR</u> | <u>COIA SUPERIOR</u> | <u>COIA INFERIOR</u> |
|--------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| 2                  | 251.000000   | INFINITO             | 2,541.321000         |
| 4                  | 20.000000    | INFINITO             | 20.000000            |
| 5                  | .000000      | INFINITO             | 13.333330            |
| 6                  | .000000      | INFINITO             | 19.083970            |
| 7                  | 32.000000    | 41.44670             | 32.000000            |
| 8                  | .000000      | INFINITO             | 55.172420            |
| 10                 | .000000      | INFINITO             | 1,696.214000         |
| 11                 | 1,129.000000 | INFINITO             | 2,825.214000         |
| 12                 | .000000      | INFINITO             | 2,166.575000         |
| 13                 | 675.000000   | INFINITO             | 2,334.996000         |
| 24                 | .000000      | INFINITO             | 460.526300           |
| 25                 | .000000      | INFINITO             | 2,084.818000         |
| 26                 | .000000      | 19,046.060000        | .000000              |
| 27                 | 50.000000    | 19,046.060000        | 50.000000            |
| 29                 | 1,761.000000 | INFINITO             | 1,761.000000         |
| 30                 | .000000      | INFINITO             | 1,572.321000         |
| 31                 | .000000      | INFINITO             | 1,572.321000         |
| 32                 | .000000      | INFINITO             | 919.486200           |
| 36                 | 198.000000   | INFINITO             | 198.000000           |
| 37                 | .000000      | .000000              | .484765              |
| 38                 | .000000      | INFINITO             | 204.123700           |
| 41                 | .000000      | 129.061600           | .000000              |
| 42                 | 28.000000    | 129.061600           | 28.000000            |
| 44                 | 201.000000   | INFINITO             | 112.406500           |
| 45                 | .000000      | INFINITO             | 148.561200           |
| 46                 | .000000      | 21.227230            | 4.605263             |
| 47                 | .000000      | 21.227230            | 4.605263             |
| 48                 | 1.000000     | INFINITO             | 1.000000             |
| 49                 | 1.000000     | INFINITO             | 1.000000             |

A continuación se darán los resultados que se obtuvieron en la segunda etapa analizando los mismos pasos que se describieron en la primera etapa.

#### B) SEGUNDA ETAPA

Los productos derivados de las naftas que son denominados aromáticos arrojaron un valor en su función objetivo de 152334.100. Este monto representa el valor máximo de los costos de producción y ventas de los productos elaborados a partir de una disponibilidad de 1,379 toneladas de petróleo crudo.

La estimación de esta etapa dio como resultado una solución básica en cuanto al conjunto de productos que se obtienen de los derivados de las naftas, este petroquímico es el Paraxileno, que representa la solución óptima en esta etapa. A continuación se mostrará la venta del producto elaborado:

| <u>PRODUCTO</u> | <u>VOLUMEN</u> | <u>VALOR</u> |
|-----------------|----------------|--------------|
| CPXL            | 212.773300     | 683.000000   |

Los precios sombra son los siguientes:

| <u>ROW</u> | <u>PRECIO SOMBRA</u> |
|------------|----------------------|
| 2          | 21.413330            |
| 3          | 3.000000             |
| 4          | 2.600000             |
| 5          | 51.033330            |
| 6          | 46.033330            |
| 7          | 367.000000           |
| 8          | 3.500000             |
| 9          | 355.000000           |
| 10         | 355.000000           |
| 11         | 408.000000           |
| 12         | 493.000000           |
| 13         | 683.000000           |
| 14         | 394.000000           |
| 15         | 3.500000             |

Como se puede observar, las restricciones que contribuyeron con mayores volúmenes sobre el valor de la función objetivo, por medio de los precios sombra son:

| <u>RESTRICCION</u> | <u>PRECIO SOMBRA</u> |
|--------------------|----------------------|
| R12                | 683.000000           |
| R11                | 408.000000           |
| R14                | 394.000000           |
| R07                | 367.000000           |
| R08                | 355.000000           |

Los aportes más significativos sobre el valor de la función objetivo con respecto a los costos reducidos son los siguientes:

| <u>VARIABLE</u> | <u>COSTO REDUCIDO</u> |
|-----------------|-----------------------|
| PARM            | 92.593660             |
| PBNC            | 1,241.300000          |
| PBBT            | 19.312930             |
| PHEP            | 778.923300            |
| PHEX            | 1,078.040000          |
| PMFX            | 3,270.866000          |
| POXL            | 100.000000            |
| PPPL            | 70.676670             |
| PTOL            | 62.733310             |

Los rangos para los coeficientes de la función objetivo son los siguientes:

| <u>VARIABLE</u> | <u>VALOR</u> | <u>COIA INFERIOR</u> | <u>COIA SUPERIOR</u> |
|-----------------|--------------|----------------------|----------------------|
| CARM            | 367.000000   | 92.593660            | 367.000000           |
| CHEP            | 355.000000   | 778.923300           | 355.000000           |
| CHEX            | 355.000000   | 1,078.040000         | 355.000000           |
| CMPX            | 408.000000   | 3,270.866000         | 408.000000           |
| COXL            | 493.000000   | 100.203400           | 493.000000           |
| CPXL            | 683.000000   | INFINITO             | 94.099960            |
| CTOL            | 394.000000   | 62.733310            | 394.000000           |
| PARM            | 1.200000     | 92.593660            | INFINITO             |
| PBNC            | 5.100000     | 1,241.300000         | INFINITO             |
| PBBT            | 1.670000     | 19.312930            | INFINITO             |
| PHEP            | 3.100000     | 778.923300           | INFINITO             |
| PHEX            | 3.200000     | 1,078.040000         | INFINITO             |
| PMPX            | 3.800000     | 3,270.866000         | INFINITO             |
| POXL            | 5.230000     | 100.203400           | INFINITO             |
| PPXL            | 7.500000     | INFINITO             | 94.099960            |
| PPPL            | 1.670000     | 70.676670            | INFINITO             |
| PTOL            | 3.600000     | 62.733310            | INFINITO             |
| PNAF            | 3.500000     | INFINITO             | 43.109230            |
| MCRD            | 3.500000     | INFINITO             | 3.500000             |
| MNAF            | 5.000000     | INFINITO             | 43.109230            |
| MPPL            | 2.600000     | 70.676670            | 2.600000             |
| MBBT            | 3.000000     | 19.312930            | 3.000000             |
| MBNC            | 3.500000     | INFINITO             | 3.500000             |

Por último se daran los coeficientes de los lados derechos:

| <u>ROW</u> | <u>RHS</u>   | <u>INCREMENTO</u> | <u>DECREMENTO</u> |
|------------|--------------|-------------------|-------------------|
| 2          | 1,379.000000 | INFINITO          | 1,379.000000      |
| 3          | 36.000000    | INFINITO          | 36.000000         |
| 4          | 201.000000   | INFINITO          | 201.000000        |
| 5          | .000000      | INFINITO          | 551.000000        |
| 6          | 2,640.000000 | INFINITO          | 3,191.600000      |
| 7          | 198.000000   | INFINITO          | 198.000000        |
| 13         | .000000      | INFINITO          | 212.773300        |
| 15         | 1.000000     | INFINITO          | 1.000000          |

## CONCLUSIONES

A través del análisis de la presente investigación podemos afirmar que la petroquímica básica constituye efectivamente un eslabón importante en la cadena del proceso productivo del país al ser un proveedor importante de insumos para el sector industrial.

Desde su inicio ha presentado un desarrollo sostenido, y de igual forma a tenido incrementos significativos en su capacidad productiva y en el monto de sus inversiones. Esto se observó durante la década de los 70's que con el proceso de sustitución de importaciones tuvo lugar la creación de enormes complejos petroquímicos, incrementándose de esta manera la producción de productos petroquímicos sobre todo en 1978, debiéndose éste incremento fundamentalmente a las inversiones canalizadas por el gobierno a este sector.

Sin embargo no se puede dejar a un lado los problemas que enfrenta esta industria dentro de nuestra economía. La crisis de 1982-1983 afectó de una manera directa el desarrollo de esta industria, reduciéndose así la producción en 1984 en 2.9% marcando el índice más bajo de la historia.

Con todo esto se logró integrar una planta productiva más o menos competitiva poniéndose en operación al máximo y alcanzando un incremento en la demanda de productos petroquímicos. Este

ritmo de producción se vio frenado, ya que el proceso de producción es complejo y en determinados momentos se ha dejado de emplear totalmente la planta productiva, esto es demostrado en los últimos tres años de nuestro estudio, ya que la capacidad instalada decreció notablemente.

Otro aspecto importante de esta industria es la relación que guarda con los sectores industrial y manufacturero en lo que respecta al Producto Interno Bruto, la participación de la industria petroquímica básica es la siguiente; de un monto de 5,820 millones de pesos en 1980 paso a 13,861 millones de pesos en 1987, con una contribución en el PIB nacional fue de 11.9% en promedio, pasando de 0.13% a 0.28%; y en el sector industrial de 0.39% a 0.92% representando un promedio de 14.58%. Pero donde a participado de una manera mas directa e intensa es en el sector manufacturero con 14.57% en promedio debido a que la petroquímica básica forma parte integrante de este sector ya que la misma absorbe un gran porcentaje de su producción (aproximadamente el 30%) como materia prima para poder elaborar una variedad de productos petroquímicos, mismos que posteriormente son utilizados como insumos requeridos por estos sectores.

Los mercados que más demandan los productos petroquímicos en nuestro país son los relacionados con las industrias de abonos y fertilizantes, así como las químicas. Podemos concluir que los productos de mayor consumo son fundamentalmente los empleados en las actividades antes mencionadas y entre las que destacan el amoniaco destinado a las industrias de abonos y fertilizantes, el

acetaldheido, el azufre, el polietileno alta y baja densidad, el ciclohexano, el isopropanol, el butadieno, el propileno y el acrilonitrilo entre otros. En 1987 las importaciones se redujeron totalmente a excepción de 151 mil toneladas de amoniaco, esto demuestra la importancia significativa que ha adquirido la industria petroquímica básica en los últimos años generando incluso excedentes exportables de algunos petroquímicos como el amoniaco, y los aromaticos, como son el benceno, el metano, el tolueno, etc. una aclaración importante que conviene hacer respecto al amoniaco es la siguiente: la importación que hace PEMEX de este producto es destinada como materia prima, y el amoniaco que se exporta es el ya procesado y destinado a ventas.

De esta manera el fin del presente trabajo fue el de realizar un ejercicio metodológico de construcción de un modelo que nos permita llegar a resultados cualitativos y cuantitativos para poder mejorar la asignación de recursos limitados y escasos; tomando en consideración el papel económico, político y social que tiene la petroquímica básica dentro de la industria nacional.

El ejercicio se realizó en base a la estructura productiva de la petroquímica básica, mismo que tiene un impacto hacia adelante, es decir sobre la comercialización y consumo de productos elaborados y estar en condiciones de planear opciones para cubrir eficazmente la demanda de tales productos, dejando a un lado el problema exógeno de las plantas obsoletas que no operan al máximo.

La importancia del modelo de programación lineal para la industria petroquímica básica radica en la representación de las interrelaciones entre los productos elaborados y materias primas, así como la integración de su proceso productivo ya que cuenta con una infraestructura compleja que funciona bajo un estricto control y un adecuado manejo en lo que respecta a la asignación de recursos. Es así como hemos podido acercarnos un poco más a la realidad de esta industria.

Lo más destacado de los resultados obtenidos en la resolución del modelo es la existencia de un conjunto de productos que se presentan como los más rentables en las actividades de producción y venta, así como la canalización más óptima de los recursos y las posibles variaciones que pueda obtener la solución del modelo como consecuencia de cambios en los diferentes componentes del mismo.

No obstante es importante señalar que los resultados del modelo están dados de manera relativa, esto no quiere decir que se escape de una realidad, sino por el contrario se hizo todo lo posible por obtener una solución factible y como resultado cuantitativo tenemos que, de acuerdo con la cantidad 5865091.00 total del valor máximo de los costos de producción y el valor de los productos elaborados, tenemos que el producto más rentable para producir es el amoníaco, ya que con el menor costo de producción se alcanza un óptimo resultado en su volumen elaborado. Este producto está representando el 0.00085% del monto total de la producción petroquímica.

Otros productos importantes son el acrilonitrilo que representa el 0.013%, el azufre 2.1%, el butadieno el 0.23%, el ciclohexano 0.05%, el isopropanol 0.016%, el polietileno alta densidad 0.12% y el polietileno baja densidad 0.7%.

Para poder profundizar más en el modelo se requirió de la depuración más técnica de los datos y en general de toda la información utilizada, así como ampliar el cuadro de variables correspondientes a los insumos, producción y ventas, con lo cuál el modelo adquirió una potencialidad considerable para cubrir su objetivo de planeación económica. Esperamos que esta investigación proporcione las bases para hacer un estudio más detallado sobre esta industria que es tan importante en nuestro país, ya que sus productos tienen un efecto multiplicador, debido a que son utilizados como insumos por otras industrias.

## BIBLIOGRAFIA

### LIBROS

ANGELES, Luis.

"Crisis y Coyuntura de la Economía Mexicana".  
Ediciones El Caballito, S.A., México, D.F. 1979.

ANGELES, Luis.

"Petróleo en México".  
Ediciones El Caballito, S.A., México, D.F.

ANGELES, Luis.

"La Industria Petroquímica Mexicana en la Dinámica  
Internacional". México, D.F., p.p. 165 CIDE.

BARKIN, David y Gustavo Esteba.

"Inflación y Democracia, el caso de México". Siglo XXI, México,  
1978.

CENTENO, Roberto.

"Economía del Petróleo y del Gas Natural".  
Editorial Tecnos, S.A., Madrid, España, 1974.

CHOW PONTGAY, Susana.

"Petroquímica y Sociedad".  
Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 1987.

DIEMEX - WHARTON.

"Perspectivas Económicas de México".  
Wharton Econometric Forecasting Associates, Inc.,  
Febrero de 1985.

GLASS, Colin.

"Métodos Matemáticos para Economistas".  
Editorial McGraw-Hill. Colombia, 1982.

GONZALES, Antonio.

"Tratado Moderno de Economía General".

South-Wester Publishing Co.

Segunda edición, 1976. Cincinnati, Ohio, USA.

SNOECK, Michéle.

"La Industria Petroquímica Básica en México, 1970-1982".

México, D.F., El Colegio de México 1986.

## PUBLICACIONES

Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ).  
"Anuario de la Industria Química Mexicana, 1985 - 1987".  
ANIQ, México, D.F.

Banco de México.  
"Informe Anual, 1970 - 1979, 1980 - 1987".  
México D.F. El Banco de México.

CIDE.  
Economía Mexicana, No. 2, México, 1980.

CIDE.  
Economía Mexicana, No. 5, México, 1983.

CIDE, Sacristán, R.C.  
"Las determinantes de la Balanza Comercial".  
Economía Mexicana, No. 8, México, 1986.

Comercio Exterior.  
"Primer Informe de Gobierno, Luis Echeverría Álvarez".  
Banco Nacional de Comercio exterior, Vol. XI, No. 9,  
octubre de 1971.

Comercio Exterior.  
"Cuarto Informe de Gobierno". Banco Nacional de Comercio  
Exterior. Vol. XIV, No. 9, Octubre de 1974.

Comercio Exterior.  
"Problemas y Perspectivas del Petróleo y otras fuentes  
energéticas". Banco Nacional de Comercio Exterior. Vol. XXXI,  
No. 11, noviembre de 1981.

Comercio Exterior.  
"Quinto Informe Presidencial". Banco Nacional de  
Comercio Exterior. Vol. XXXI, No. 9, septiembre de 1981.

Comercio Exterior.  
"Los Energéticos en México". Vol. XXXV, No. 10,  
Banco Nacional de Comercio Exterior.

Comercio Exterior.

"Protocolo de Adhesión al Acuerdo General sobre Aranceles Aduanales y Comercio (GATT)". Banco Nacional de Comercio Exterior. Vol. XXXVI, No. 9,

CONACYT. Leonor Azcárate.

"La Industria Petroquímica Mexicana". Información Científica y tecnológica. Vol. V, No. 82, CONACYT, México, 1983.

Diario Oficial.

"Reformas y Adiciones a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal". México, D.F., 28 de diciembre de 1982.

Instituto Mexicano del Petróleo.

"Demanda Sectorial, Análisis y Perspectivas". México, D.F. 1981, IMP.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

"Escenarios Económicos, 1980". México, D.F. INEGI.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

"Industria Petroquímica: Análisis y Expectativas". México, D.F. 1981, INEGI.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

"Matriz de Insumo - Producto, 1980". México, D.F. INEGI.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

"Sistema de Cuentas Nacionales de México, 1980 - 1987". México, D.F. 1988, INEGI.

Nacional Financiera, S.A.

"La Economía Mexicana en Cifras, 1981-1984". México, D.F. NAFINSA.

Petróleos Mexicanos.

"Anuario Estadístico, 1986". Gerencia de Evaluación e Información, PEMEX. México, D.F.

Petróleos Mexicanos.  
"Memoria de Labores, 1960 - 1967".  
PEMEX, México, D.F.

Revista Económica,  
"La Industria Petroquímica, Punta de Lanza para la Recuperación".  
México, abril 5 de 1963.

Revista Económica,  
"La Cangrejera, el Centro Petroquímico más grande de México".  
México, mayo de 1961.

Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal.  
"Programa Nacional de Energéticos, 1964 - 1968".  
México, D.F. 1965. SEMIP.

SEPAFIN.  
"Petroquímica Desarrollo Histórico; Análisis de la  
situación actual de la Petroquímica en México".  
SEPAFIN, 1964.

APENDICE "A"

C U A D R O (1.1)

ORIGEN Y DESTINO DE LOS PRODUCTOS PETROQUIMICOS BASICOS

| Derivados de     | Productos y subproductos basicos (1)   | Materias primas para  | Mercados   |
|------------------|--|---|--|
| Gas natural seco | Acetico                                | fertilizantes, caprolactama, acilonitrilo, acido nitrico, alquilaminas, alcanolaminas, sales de acido, alquilenaminas, hexametileno, tramina. | agricultura, elastomeros, fibras sinteticas, explosivos, colorantes, pesticidas, productos farmaceuticos.  |
|                  | Metanol                                | formaldehido, tereftalato de dimetilo, metilaminas, metacrilato de metilo, paratolueno metilico.  | plastificantes, fibras sinteticas, resinas, adhesivos, pesticidas, tintas, perfumes, polvos para acidos, solventes, pinturas, explosivos, elastomeros. |
|                  | Anhidrido carbonico                    | urea.   | agricultura, refrigerantes, bebidas embotelladas, aerosoles, extintores de incendios.  |
| Etileno          | Acetaldehido                           | acido acetico, 2-etilhexanol, acetato de vinilo, n-butanol cloral, acetato de etilo.  | fibras sinteticas, pinturas, adhesivos, solventes, perfumes, pesticidas, medicamentos, plastificantes, humectantes, pisos, discos.                     |
|                  | Cloruro de vinilo                      | poli-cloruro de vinilo (PVC), copolimeros.  | plasticos, adhesivos, pines, tuberia, perfiles, discos, calzado, juguetes, peliculas.  |
|                  | Acido clorhidrico (2)                  |   |  |
|                  | Acido sulfurico (3)                    |   |  |
|                  | Dicloroetano                           | cloruro de vinilo.  |  |
|                  | Etilbenceno (4)                        | estireno.   | plasticos de poliestireno, hules sinteticos.   |
|                  | Oxido de etileno                       | glicoles etilnicos, agentes tensioactivos no ionicos, etanolaminas, cloruro de colina, teres de glicoles etilnicos.                           | fibras sinteticas, anticongelantes, colorantes, plastificantes.  |
|                  | Percloroetileno                        |   | aerosoles, resinas sinteticas, refrigerantes, solventes.   |
|                  | Poli-etileno A D y<br>Poli-etileno B D | articulos moldeados por soplado, por inyeccion y por extrusion, articulos de plastico.  | peliculas, paquetes, monofilamentos, tuberia, tinacos.   |

## CONTINUACION

## CUADRO (1.1)

## ORIGEN Y DESTINO DE LOS PRODUCTOS PETROQUIMICOS BASICOS

| Derivados de       | Productos y subproductos basicos (1) | Materias primas para   | Mercados   |
|--------------------|--------------------------------------|--|--|
| Propileno          | Acrilonitrilo                        | poliacrilonitrilo, resinas ABS, hule nitrilo, acrilatos.   | fibras sinteticas, plasticos, flocuantes, adhesivos, plastificantes, elastomeros, partes automotrices, telefonos, saborizantes.    |
|                    | Acetonitrilo (5)                     |  |  |
|                    | Acido cianhidrico                    | metionina, acetona cianhidrica, metacrilato de metilo.   |  |
|                    | Dodecibenceno                        | sal de sodio.  | detergentes, agentes tensoactivos.   |
|                    | Alquilarilo pesado (6)               |  |  |
|                    | Isopropanol                          | acetona, acetato de isopropilo, solventes.   | solventes, agentes de flotacion, reactivos quimicos.   |
|                    | Oxido de propileno                   | polioles y glicoles propilenoicos, agentes tensoactivos.   | poliuretanos.  |
|                    | Polipropileno                        | articulos moldeados por inyeccion, fibras.   | plasticos, fibras, peliculas, telas filtrantes, bolsas.  |
| Butanos-butilenos  | Tetramero                            | dodecibenceno, aditivos para lubricantes.  | detergentes, agentes tensoactivos.   |
|                    | Butadieno                            | hule y latex de estireno-butadieno, hule polibutadieno, resinas ABS, hule nitrilo.   | elastomeros.   |
| Gasolinas (Naftas) | Aromaticos:                          |  |  |
|                    | Benceno                              | dodecibenceno, etilbenceno, ciclohexano, cumeno, anhido maleico, nitrobenceno, diclorobencenos, EHC, DDT, pentaclorobenceno. | resinas sinteticas, elastomeros, colorantes, insecticidas, fibras sinteticas, solventes.   |
|                    | Tolueno                              | benceno, acido benzoico, diisocianato de toluileno, mezcla de xilenos.   | alimentos, colorantes, perfumes, medicamentos, plastificantes, solventes, resinas sinteticas, elastomeros, explosivos, pesticidas. |

## CONTINUACION

## CUADRO (1.1)

## ORIGEN Y DESTINO DE LOS PRODUCTOS PETROQUIMICOS BASICOS

| Derivados de          | Productos y subproductos básicos (1)           | Materias primas para  | Mercados   |
|-----------------------|--|---|--|
| Gasolinas<br>(Naftas) | Mezcla de Xilenos<br>(orto, meta y paraxileno) | (orto-xileno): anhídrido ftálico;<br>(para-xileno): ácido tereftálico,<br>tereftalato de dietilo. | plastificantes, fibras y resinas<br>sintéticas, pesticidas, adhesivos,<br>tintes, pinturas, detergentes,<br>solventes. |
|                       | Cumeno   | fenol   | resinas, solventes, agentes<br>tensoactivos, colorantes.   |
|                       | Ciclohexano                                    | caprolactama  | resinas sintéticas, nylon,<br>solventes.   |
|                       | Estireno                                       | poliestireno, resinas ABS,<br>resinas poliéster,<br>resinas intercambiadoras de iones.            | resinas sintéticas, elastómeros,<br>resinas intercambiadoras de iones,<br>recubrimientos.                              |
|                       | Aromáticos pesados (7)                         |   |  |
|                       | Arasina 100 (8)                                |   |  |
|                       | Heptano (9)                                    |   |  |
|                       | Hexano (10)                                    |   |  |

(1) Además de los productos que aparecen en este rubro, Fexsa produce los siguientes petroquímicos básicos: Anilina, especialidades petroquímicas (deseulsionantes, agentes supresores de humo, agentes decesores de la temperatura de congelación, agentes tensoactivos, otros), hidrógeno, materia prima para negro de humo, oxígeno, sulfato de sodio.

(2) y (3) Se obtienen al producirse cloruro de vinilo.

(4) También se deriva del benceno (aromáticos).

(5) Se obtiene al producirse acrilonitrilo.

(6) Se obtiene al producirse odecilbenceno.

(7) Se obtiene al producirse aromáticos.

(8), (9) y (10) Se recuperan de ciertas fracciones en los complejos de aromáticos.

FUENTE: Elaborado a partir de SFF et al., Industria petroquímica. Análisis y expectativas, México, SFF, 1961, e IMF, Desarrollo y perspectivas de la Industria petroquímica mexicana, México, IMF, 1977.

CUADRO 1.2

INVERSIÓN ANUAL DE PEMEX EN PETROQUÍMICA, 1970-1980

(millones de pesos)

| AÑO  | INVERSIÓN EN<br>PETROQUÍMICA |
|------|------------------------------|
| 1970 | 567                          |
| 1971 | 491                          |
| 1972 | 549                          |
| 1973 | 949                          |
| 1974 | 1,201                        |
| 1975 | 1,825                        |
| 1976 | ---                          |
| 1977 | 38,999                       |
| 1978 | 38,999                       |
| 1979 | 38,999                       |
| 1980 | 15,701                       |

FUENTE : Pemex, documentos internos; IMP, Plan Integral de desarrollo de la industria petrolera y petroquímica básica, varios años, México, IMP.

C U A D R O 1.4

VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCION DE PETROQUIMICOS BASICOS, 1970-1980

| AÑO  | VOLUMEN |                     | VALOR             |                     |
|------|---------|---------------------|-------------------|---------------------|
|      | (Mton)  | Variación anual (%) | Millones de pesos | Variación anual (%) |
| 1970 | 1 931.1 | ---                 | 1 540             | ---                 |
| 1971 | 2 095.1 | 8.5                 | 1 759             | 14.5                |
| 1972 | 2 320.4 | 10.8                | 2 080             | 18.2                |
| 1973 | 2 649.8 | 14.2                | 2 548             | 26.5                |
| 1974 | 2 977.8 | 22.1                | 4 606             | 73.9                |
| 1975 | 3 634.9 | 8.6                 | 5 766             | 25.2                |
| 1976 | 3 946.3 | 8.4                 | 6 816             | 18.2                |
| 1977 | 4 200.2 | 37.8                | 9 729             | 43.6                |
| 1978 | 5 768.0 | 9.6                 | 11 501            | 17.5                |
| 1979 | 6 344.6 | 13.9                | 13 020            | 13.2                |
| 1980 | 7 224.0 | 26.8                | 7 457             | 34.1                |

FUENTE: Pemex, Memoria de Labores, 1970-1980, México, Pemex.

C U A D R O 1.5

CONSUMO NACIONAL APARENTE DE PRODUCTOS PETROQUIMICOS BASICOS, 1970-1980

(miles de toneladas)

| AÑO  | PRODUCCION BRUTA |                     | IMPORTACIONES | EXPORTACIONES | CONSUMO NACIONAL APARENTE |                     |
|------|------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------|
|      | Volumen          | Variación anual (%) |               |               | Volumen                   | Variación anual (%) |
| 1970 | 1 457.7          | —                   | 276.2         | 66.9          | 1 559.7                   | —                   |
| 1971 | 1 594.1          | 9.4                 | 332.3         | 69.5          | 1 736.0                   | 11.3                |
| 1972 | 1 892.7          | 18.7                | 490.3         | 54.4          | 2 195.9                   | 26.5                |
| 1973 | 2 219.3          | 17.3                | 485.4         | 34.6          | 2 562.5                   | 16.7                |
| 1974 | 2 499.8          | 12.6                | 523.7         | 21.2          | 2 816.8                   | 9.9                 |
| 1975 | 2 864.4          | 14.6                | 380.2         | 13.9          | 3 073.6                   | 9.1                 |
| 1976 | 3 136.2          | 9.5                 | 482.5         | 1.7           | 3 490.0                   | 13.5                |
| 1977 | 3 320.8          | 5.9                 | 657.8         | 30.2          | 3 763.3                   | 7.8                 |
| 1978 | 4 140.2          | 24.7                | 660.6         | 700.8         | 3 909.4                   | 3.9                 |
| 1979 | 4 594.1          | 11.0                | 776.5         | 750.0         | 4 377.5                   | 12.0                |
| 1980 | 5 229.3          | 13.8                | 966.6         | 755.2         | 5 440.4                   | 24.3                |

FUENTE: Pemex, Memoria de Labores, 1970-1980, México, Pemex.

C U A D R O 2.6

PLANTAS PETROQUÍMICAS EN OPERACIÓN EN 1987

| LOCALIZACIÓN                  | PLANTA   | PRODUCTO               | CAPACIDAD NOMINAL<br>(toneladas por año) | AÑO EN QUE INICIO |
|-------------------------------|--|------------------------|--|-------------------|
| AZCAPOTZALCO, D.F.            | Azufre   | azufre                 | 8 250                                    | 1959              |
|                               | Dodecibenceno  | Dodecibenceno          | 36 500                                   | 1960              |
|                               |  | Alquilarilo pesado     | 3 700                                    | 1960              |
|                               | Tetrámero  | Tetrámero de propileno | 17 500                                   | 1959              |
| CACTUS, CHIS.                 | Azufre 1   | Azufre                 | 26 400                                   | 1974              |
|                               | Azufre 2   | Azufre                 | 26 400                                   | 1975              |
|                               | Azufre 3   | Azufre                 | 52 800                                   | 1976              |
|                               | Azufre 4   | Azufre                 | 52 800                                   | 1976              |
|                               | Azufre 5   | Azufre                 | —  | 1978              |
|                               | Azufre 6   | Azufre                 | —  | 1978              |
|                               | Azufre 7   | Azufre                 | 52 800                                   | 1978              |
|                               | Azufre 8   | Azufre                 | 52 800                                   | 1978              |
|                               | Azufre 9   | Azufre                 | 52 800                                   | 1979              |
|                               | Azufre 10  | Azufre                 | 52 800                                   | 1979              |
|                               | Azufre 11  | Azufre                 | 52 800                                   | 1980              |
|                               | Azufre 12  | Azufre                 | 52 800                                   | 1979              |
|                               | Criogénica 5   | Etano                  | 778 200                                  | 1980              |
| CADEREYTA, N.L.               | Azufre   | Azufre                 | 26 400                                   | 1985              |
| CANARGO, CHIH.                | Amónico  | Amónico                | 132 000                                  | 1967              |
|                               |  | Anhidrido carbónico    | 165 000                                  | 1967              |
| LA CANGREJERA, VER.           | Acetaldehído   | Acetaldehído           | 100 000                                  | 1980              |
|                               | Estabilizadora de crudo                                  | Gasolina asarga        | 35 500 BDC                               | 1983              |
|                               | Oxígeno  | Oxígeno                | 200 000                                  | 1980              |
|                               |  | Nitrógeno              | 40 000                                   | 1980              |
|                               | Oxido de etileno   | Gase de etileno        | 100 000                                  | 1981              |
|                               |  | Glicoles               | 3 800                                    | 1981              |
|                               | Cumeno   | Cumeno                 | 40 000                                   | 1981              |
|                               | Hidrodesulfuradora de naftas                             | Naftas desulfuradas    | 86 000 BDC                               | 1982/1983         |
|                               | Fracccionadora de hidrocarburos                          | Etano                  | 778 200                                  | 1981              |
|                               | Reformadora BTX  | Naftas reformadas      | 45 000 BDC                               | 1982              |
|                               | Fracccionadora de aromaticos (incluye fracc. de xilenos) | Benceno                |  |                   |
|                               |  | Tolueno                | 365 000                                  | 1982              |
|                               |  | Meta y paraxileno      | 360 000                                  | 1982              |
|                               |  | Ortoxileno             | 55 000                                   | 1982              |
|                               |  | Aromaticos pesados     | 22 000                                   | 1982              |
| Extractora de aromaticos      | Benceno, tolueno y mezcla de xilenos                     | 17 500 BDC             | 1982                                     |                   |
| Cristalización de paraxilenos | Paraxileno   | 240 000                | 1982                                     |                   |

CONTINUACION

CUADRO 2.6

PLANTAS PETROQUIMICAS EN OPERACION EN 1987

| LOCALIZACION        | PLANTA  | PRODUCTO                    | CAPACIDAD NOMINAL (toneladas por año) | AÑO EN QUE INICIO |      |
|---------------------|---|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------|------|
| LA CANGREJERA, VER. | Isomerización de xilenos                                | Mezcla de xilenos           | 43 000 BDC                            | 1982              |      |
|                     | Xilenos plus  | Benceno y mezcla de xilenos | 13 000 BDC                            | 1983              |      |
|                     | Hidrodealquiladora de tolueno                           | Benceno                     | 2 910 BDC                             | 1984              |      |
|                     | Purificadora de hidrógeno                               | Hidrógeno                   | 24.6 MWPCD                            | 1983              |      |
|                     | Recuperadora de licuables                               | Propano y más pesados       | 10 000 BDC                            | 1983              |      |
|                     | Etilbenceno   | Etilbenceno                 | 187 500                               | 1984              |      |
|                     | Estireno  | Estireno                    | 150 000                               | 1984              |      |
|                     | Poliétileno alta presión                                | Poliétileno baja densidad   | Tren I                                | 80 000            | 1984 |
|                     |   |                             | Tren II                               | 80 000            | 1985 |
|                     |   |                             | Tren III                              | 80 000            | 1986 |
|                     | Fraccionamiento de solventes                            | Aromina 100                 | 90 000                                | 1982              |      |
|                     |   | Heptano                     | 11 000                                | 1982              |      |
|                     |   | Hexano                      | 35 000                                | 1982              |      |
|                     |   | Etileno                     | Etileno                               | 500 000           | 1982 |
|                     |   | Propileno                   | 26 900                                | 1982              |      |
|                     | COSOLEACAQUE, VER.                                      | Acilonitrilo                | Acetonitrilo                          | 230               | 1971 |
|                     |   |                             | Acilonitrilo                          | 24 000            | 1971 |
| Acido cianhídrico   |   |                             | 3 750                                 | 1971              |      |
|                     |   | Sulfato de amonio           | 9 400                                 | 1971              |      |
| Amoniaco 1          |   | Hidrógeno                   | 14 800                                | 1962              |      |
|                     |   | Anhídrido carbónico         | 66 000                                | 1962              |      |
| Amoniaco 2          |   | Amoniaco                    | 300 000                               | 1968              |      |
|                     |   | Anhídrido carbónico         | 376 000                               | 1968              |      |
| Amoniaco 3          |   | Amoniaco                    | 300 000                               | 1964              |      |
|                     |   | Anhídrido carbónico         | 376 000                               | 1964              |      |
| Amoniaco 4          |   | Amoniaco                    | 445 000                               | 1977              |      |
|                     |   | Anhídrido carbónico         | 560 000                               | 1977              |      |
| Amoniaco 5          |   | Amoniaco                    | 445 000                               | 1978              |      |
|                     |   | Anhídrido carbónico         | 560 000                               | 1978              |      |
| Amoniaco 6          |   | Amoniaco                    | 445 000                               | 1981              |      |
|                     |   | Anhídrido carbónico         | 560 000                               | 1981              |      |
| Amoniaco 7          |   | Amoniaco                    | 445 000                               | 1981              |      |
|                     | Anhídrido carbónico                                     | 560 000                     | 1981                                  |                   |      |
|                     | Isomerización de xilenos y cristalización de paraxileno | Paraxileno                  | 40 000                                | 1973              |      |

C O N T I N U A C I O N

C U A D R O 2 . 6

PLANTAS PETROQUIMICAS EN OPERACION EN 1987

| LOCALIZACION      | PLANTA                           | PRODUCTO               | CAPACIDAD<br>NOMINAL<br>(toneladas por año) | AÑO<br>EN QUE<br>INICIO |
|-------------------|----------------------------------|------------------------|---|-------------------------|
| CD. MADERO, TAM.  | Aikar                            | Etilbenceno            | 39 400                                      | 1970                    |
|                   | Azufre                           | Azufre                 | 20 000                                      | 1972                    |
|                   | Butadieno                        | Butadieno              | 55 000                                      | 1975                    |
|                   | Dodecibenceno                    | Dodecibenceno          | 31 600                                      | 1965                    |
|                   |                                  | Alquilario pesado      | 2 700                                       | 1965                    |
|                   | Estireno                         | Estireno               | 30 000                                      | 1967                    |
|                   | Tetrámero                        | Tetrámero de propileno | 19 000                                      | 1962                    |
| CD. PEMEX, TAB.   | Azufre 1                         | Azufre                 | 118 800                                     | 1981                    |
|                   | Azufre 2                         | Azufre                 | 118 800                                     | 1983                    |
|                   | Criogénica                       | Etano                  | 144 000                                     | 1985                    |
| LA VENTA, VER.    | Absorción                        | Etano                  | 74 000                                      | 1967                    |
|                   | Criogénica                       | Etano                  | 144 000                                     | 1972                    |
| MATAPICHÉ, VER.   | Azufre                           | Azufre                 | 9 900                                       | 1981                    |
| MINATITLÁN, VER.  | Aikar                            | Etilbenceno            | 8 000                                       | 1967                    |
|                   |                                  | Polialquilados         | 3 100                                       | 1967                    |
|                   | Ciclohexano                      | Ciclohexano            | 106 000                                     | 1968                    |
|                   | Fracccionadora de solventes      | Heptano                | 10 000                                      | 1964                    |
|                   |                                  | Hexano                 | 20 000                                      | 1964                    |
|                   | Hydeal                           | Benceno                | 70 550                                      | 1967                    |
|                   | Reformadora BTX                  | Benceno                | 53 700                                      | 1964                    |
|                   | Extractor UDEX                   | Tolueno                | 100 000                                     | 1964                    |
|                   | Fracccionadora de aromaticos     | Etilbenceno            | 9 550                                       | 1964                    |
|                   |                                  | Meta y paraxileno      | 40 610                                      | 1964                    |
|                   |                                  | Arosina 100            | 7 400                                       | 1964                    |
|                   |                                  | Ortoxileno             | 11 250                                      | 1964                    |
|                   | Super-fraccionamiento de xilenos | Aromaticos pesados     | 44 000                                      | 1964                    |
| Azufre            | Azufre                           | 26 000                 | 1986  |                         |
| NUEVO PEMEX, TAB. | Azufre 1                         | Azufre                 | 118 800                                     | 1985                    |
|                   | Azufre 2                         | Azufre                 | 118 800                                     | 1986                    |
|                   | Criogénica                       | Etano                  | 778 200                                     | 1985                    |
| PAJARITOS, VER.   | Acetaldehído                     | Acetaldehído           | 44 000                                      | 1969                    |
|                   | Cloruro de vinilo 2              | Cloruro de vinilo      | 70 000                                      | 1973                    |
|                   |                                  | Acido clorhídrico      | 45 000                                      | 1973                    |
|                   |                                  | Acido muriático        | 36 000                                      | 1967                    |
|                   | Criogénica                       | Etano                  | 100 000                                     | 1972                    |
|                   | Dicloroetano 1                   | Dicloroetano           | 41 700                                      | 1967                    |
|                   | Dicloroetano 2                   | Dicloroetano           | 42 350                                      | 1973                    |

CONTINUACION

CUADRO 2.6

PLANTAS PETROQUIMICAS EN OPERACION EN 1987

| LOCALIZACION                  | PLANTA                       | PRODUCTO                   | CAPACIDAD NOMINAL (toneladas por año) | AÑO EN QUE INICIO |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| PAJARITOS, VER.               | Dicloroetano (oxicloraación) | Dicloroetano               | ---                                   | 1974              |
|                               | Etileno 1                    | Etileno                    | 27 210                                | 1967              |
|                               | Dicloroetano 3               | Dicloroetano               | 115 000                               | 1982              |
|                               | Dicloroetano (oxicloraación) | Dicloroetano               | 215 000                               | 1982              |
|                               | Cloruro de vinilo 3          | Monómero de vinilo         | 200 000                               | 1982              |
|                               |                              | Ácido clorhídrico          | 116 000                               | 1982              |
|                               | Etileno 2                    | Etileno                    | 182 000                               | 1972              |
|                               | Oxido de etileno             | Oxido de etileno           | 28 000                                | 1972              |
|                               | Purificadora de propano      | Propano                    | 5 000 EDC                             | 1985              |
|                               | Fercloroetileno              | Fercloroetileno            | 16 000                                | 1987              |
|                               |                              | Tetracloruro de carbono    | 16 000                                | 1987              |
|                               |                              | Ácido clorhídrico          | 28 600                                | 1987              |
|                               |                              | Ácido muriático            | 10 000                                | 1987              |
|                               | FOJA RICA, VER.              | Azufre                     | Azufre                                | 46 200            |
| Criogénica                    |                              | Etano                      | 127 000                               | 1977              |
| Etileno                       |                              | Etileno                    | 182 000                               | 1978              |
|                               |                              | Propileno                  | 9 400                                 | 1978              |
| Poli-etileno alta presión     |                              | Poli-etileno baja densidad | 51 000                                | 1971              |
| Poli-etileno baja presión     |                              | Poli-etileno alta densidad | 100 000                               | 1978              |
| REYNOSA, TAM.                 | Absorción                    | Etano                      | 47 000                                | 1966              |
|                               | Etileno                      | Etileno                    | 27 210                                | 1966              |
|                               | Poli-etileno alta presión    | Poli-etileno baja densidad | 13 600                                | 1966              |
| SALAMANCA, GTO.               | Alcohol isopropilico         | Isopropanol                | 15 000                                | 1969              |
|                               | Aseniaco 1                   | Hidrógeno                  | 79 000                                | 1962              |
|                               |                              | Anhidrido carbónico        | 98 750                                | 1962              |
|                               | Aseniaco 2                   | Aseniaco                   | 300 000                               | 1978              |
|                               |                              | Anhidrido carbónico        | 378 000                               | 1978              |
|                               | Azufre                       | Azufre                     | 28 000                                | 1972              |
| Azufre                        | Azufre                       | 28 000                     | 1973                                  |                   |
| SALINA CRUZ, OAX.             | Azufre                       | Azufre                     | 26 000                                | 1985              |
| SAN MARTIN<br>TEMELUCAN, PUE. | Dodecibenceno                | Dodecibenceno              | 70 000                                | 1985              |
|                               | Alquilarilo pesado           | Alquilarilo pesado         | 5 980                                 | 1985              |
|                               | Metanol 1                    | Alcohol metilico           | 21 500                                | 1969              |
|                               | Metanol 2                    | Alcohol metilico           | 150 000                               | 1976              |

## CONTINUACION

## C U A D R O 2.6

## PLANTAS PETROQUIMICAS EN OPERACION EN 1987

| LOCALIZACION                   | PLANTA                       | PRODUCTO                             | CAPACIDAD<br>NOMINAL<br>(toneladas por año) | AÑO<br>EN QUE<br>INICIO |
|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------|
| SAN MARTIN<br>TEXMELUCAN, PUE. | Especialidades petroquímicas | Desparafinantes                      | 960   | 1973                    |
|                                |                              | Desesulfurificantes                  | 2 040                                       | 1973                    |
|                                |                              | Reductores de tensión<br>superficial | 120   | 1973                    |
|                                |                              | Depresores de congelación            | 2 400                                       | 1973                    |
|                                |                              | Aditivos para gasolina sin<br>plomo  | 150   | 1973                    |
|                                |                              | Inhibidores de corrosión             | 150   | 1973                    |
|                                |                              | Tetrámero                            | Tetrámero de propileno                      | 80 000                  |
|                                | TOTONACA, TAM.               | Azufre                               | Azufre                                      | ---                     |
| TULA, HGO.                     | Acetonitrilo                 | Acetonitrilo                         | 2 080                                       | 1979                    |
|                                | Acido cianhídrico            | Acido cianhídrico                    | 7 500                                       | 1979                    |
|                                | Acilonitrilo                 | Acilonitrilo                         | 50 000                                      | 1979                    |
|                                | Azufre                       | Azufre                               | 55 100                                      | 1978                    |
|                                |                              |                                      | CAPACIDAD INSTALADA                         | 16 575 750              |

FUENTE: Memoria de Labores 1987, FEMEX.

CUADRO 2.8

PRODUCCION BRUTA DE PETROQUIMICOS BASICOS

(miles de toneladas)

| PRODUCTOS                    | 1980  | 1981  | 1982   | 1983   | 1984   | 1985   | 1986   | 1987       |
|------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
| Acetaldehído                 | 48    | 122   | 149    | 153    | 147    | 145    | 136    | 158        |
| Acetonitrilo                 | 1     | 2     | 2      | 2      | 2      | 2      | 3      | 3          |
| Acido cianhídrico            | 9     | 9     | 8      | 6      | 6      | 6      | 8      | 7          |
| Acido clorhídrico            | 36    | 33    | 47     | 79     | 77     | 63     | 83     | 117        |
| Acido muriático              | 17    | 17    | 19     | 18     | 16     | 16     | 21     | 29         |
| Acrolonitrilo                | 54    | 54    | 53     | 55     | 49     | 49     | 54     | 58         |
| Alquilarilo pesado           | 7     | 7     | 7      | 6      | 5      | 7      | 11     | 9          |
| Amoniaco                     | 1 883 | 2 183 | 2 469  | 2 350  | 2 156  | 2 261  | 1 949  | 2 121      |
| Anhidrido carbonico          | 2 407 | 2 947 | 3 552  | 3 367  | 3 157  | 3 199  | 2 902  | 3 006      |
| Aromaticos pesados           | 48    | 53    | 57     | 86     | 73     | 63     | 66     | 91         |
| Aromina 100                  | 8     | 9     | 17     | 90     | 128    | 111    | 110    | 119        |
| Azufre                       | 402   | 426   | 425    | 377    | 461    | 475    | 456    | 501        |
| Benceno                      | 79    | 76    | 96     | 139    | 156    | 178    | 222    | 282        |
| Butadieno                    | 17    | 12    | 15     | 19     | 20     | 18     | 18     | 21         |
| Ciclohexano                  | 40    | 44    | 35     | 49     | 51     | 32     | 39     | 52         |
| Cloruro de vinilo            | 62    | 57    | 79     | 134    | 132    | 108    | 141    | 179        |
| Cumeno                       | —     | 2     | 20     | 37     | 33     | 39     | 42     | 38         |
| Dicloroetano                 | 106   | 117   | 201    | 265    | 220    | 193    | 271    | 326        |
| Dodecibenceno                | 55    | 60    | 62     | 57     | 51     | 61     | 103    | 98         |
| Especialidades petroquimicas | 5     | 6     | 6      | 4      | 6      | 6      | 6      | 8          |
| Estireno                     | 31    | 33    | 29     | 24     | 30     | 33     | 69     | 121        |
| Etano                        | 632   | 1 337 | 1 550  | 1 638  | 1 574  | 1 905  | 2 550  | 2 518      |
| Etilbenceno                  | 29    | 29    | 23     | 24     | 31     | 46     | 91     | 152        |
| Etileno                      | 366   | 376   | 376    | 645    | 643    | 670    | 767    | 804        |
| Heptano                      | 7     | 7     | 6      | 6      | 9      | 10     | 13     | 9          |
| Hexano                       | 60    | 66    | 76     | 64     | 95     | 98     | 101    | 98         |
| Isopropanol                  | 13    | 16    | 11     | 12     | 14     | 15     | 11     | 17         |
| Metanol                      | 174   | 180   | 191    | 205    | 197    | 192    | 182    | 191        |
| Meta y paraxileno            | 77    | 87    | 99     | 197    | 225    | 247    | 231    | 313        |
| Nitrogeno                    | —     | 30    | 39     | 45     | 47     | 46     | 49     | 49         |
| Ortoxileno                   | 16    | 17    | 15     | 39     | 43     | 45     | 42     | 68         |
| Oxido de etileno             | 30    | 48    | 79     | 112    | 97     | 71     | 114    | 95         |
| Oxigeno                      | —     | 159   | 208    | 214    | 200    | 211    | 206    | 179        |
| Paraxileno                   | 39    | 36    | 36     | 116    | 137    | 110    | 123    | 187        |
| Poli(etileno) A.D.           | 57    | 78    | 78     | 62     | 76     | 68     | 69     | 76         |
| Poli(etileno) B.D.           | 91    | 91    | 93     | 88     | 133    | 160    | 242    | 275        |
| Propileno                    | 137   | 156   | 158    | 191    | 208    | 207    | 232    | 257        |
| Sulfato de amonio            | 10    | 7     | 6      | 12     | 7      | 6      | 3      | 7          |
| Tetramero                    | 36    | 35    | 39     | 30     | 35     | 31     | 51     | 76         |
| Tolueno                      | 125   | 132   | 138    | 223    | 216    | 220    | 238    | 313        |
| TOTAL                        | 7 224 | 9 160 | 10 590 | 11 264 | 10 943 | 11 423 | 12 025 | 13 033 (*) |

(\*) Se toman en cuenta 7,762 toneladas de percloroetileno y tetracloruro de carbono.

FUENTE: Anuario estadístico 1986, Pemex.  
Memoria de Labores 1987, Pemex.

C U A D R O 2.9

INCREMENTO DE LA PRODUCCION EN 1987

---

| PRODUCTOS                    | INCREMENTO |
|------------------------------|------------|
| Acetaldehido                 | 15.5 %     |
| Acido clorhídrico            | 40.7 %     |
| Acido muriático              | 38.3 %     |
| Acilonitrilo                 | 7.7 %      |
| Amoniaco                     | 8.9 %      |
| Anhidrido carbónico          | 3.6 %      |
| Aromáticos pesados           | 38.0 %     |
| Aromina 100                  | 7.9 %      |
| Azufre                       | 9.9 %      |
| Benceno                      | 27.1 %     |
| Butadieno                    | 17.1 %     |
| Ciclohexano                  | 31.6 %     |
| Cloruro de vinilo            | 26.5 %     |
| Dicloroetano                 | 20.5 %     |
| Especialidades petroquímicas | 30.2 %     |
| Estireno                     | 74.4 %     |
| Etilbenceno                  | 67.4 %     |
| Etileno                      | 4.8 %      |
| Isopropanol                  | 52.6 %     |
| Metanol                      | 4.7 %      |
| Mezcla de Xilenos            | 35.3 %     |
| Carga negra de humo          | 37.6 %     |
| Nitrogeno                    | 0.1 %      |
| Ortoxileno                   | 64.0 %     |
| Paraxileno                   | 52.7 %     |
| Polietileno A. D.            | 10.0 %     |
| Polietileno B. D.            | 13.6 %     |
| Propileno                    | 10.8 %     |
| Sulfato de amonio            | 161.8 %    |
| Tetrámero                    | 48.0 %     |
| Tolueno                      | 31.5 %     |

---

FUENTE: Memoria de Labores 1987, Petroleos Mexicanos.

CUADRO 2.10

TRANSFORMACIONES EN LA INDUSTRIA PETROQUIMICA BASICA

| TRANSFORMACION FISICA |   | TRANSFORMACION QUIMICA                    |   |  |
|-----------------------|---|---|---|--|
| INSUMOS BASICOS       | PRODUCTOS   | INSUMOS                                   | INSUMOS INTERMEDIOS                                     | PRODUCTOS FINALES  |
| Gas Natural           | -Metano<br>-Etano   | Los productos de la transformación física | -Etileno<br>-Etilbenceno<br>-Dicloroetano<br>-Tetrámero | Metano<br>Acetico<br>Acetaldehido<br>Oxido de etileno<br>Polietileno A.D.<br>Polietileno B.D.<br>Cloruro de vinilo<br>Percloroetileno<br>Acilonitrilo<br>Isopropanol<br>Polipropileno<br>Oxido de propileno<br>Butadieno<br>Benceno<br>Tolueno<br>Ciclohexano<br>Estireno<br>Cumeno<br>Ortoxileno<br>Paraxileno<br>Otros (1) |
| Petroleo Crudo        | -Propano - propileno<br>-Butanos - butilenos<br>-Benceno<br>-Tolueno<br>-Ortoxileno<br>-Xilenos |   |   |  |

NOTA: (1) INCLUYE: Acido cianhídrico, ácido clorhídrico, ácido aurístico, alquilarilo pesado, anhídrido carbónico, aromáticos pesados, aromina 100, azufre, especialidades petroquímicas, heptano, hexano, sulfato de amonio.

FUENTE: SFP et al., Industria petroquímica. Análisis y perspectivas, México, SPP, 1981, p.24.

C U A D R O 2 . 11

DERIVADOS Y EMPLEOS DE LOS PRINCIPALES  
PETROQUIMICOS BASICOS

DERIVADOS DEL ETILENO

| PRODUCTOS        | EMPLEOS  |
|------------------|--|
| Polietileno      | - Filmes, plásticos.   |
| Oxido de Etileno | - Productos intermedios para la fabricación de glicoles etilénicos, usados como anticongelantes y materias primas para fibras poliéster (terylene), y para detergentes, disolventes, aprestos textiles, etc. |
| Alcohol Etilico  | - Disolvente industrial, y producto químico intermedio.  |
| Estireno         | - Para plásticos de poliestireno y para caucho sintético.  |
| Acetaldehido     | - Para producir ácido acético (empleado en fibras, plásticos, adhesivos y pinturas), para alcoholes, plasticidas y como intermedio para la producción de resinas.  |
| Dicloro Etileno  | - Convertido en cloruro de vinilo y despues en cloruro de polivinilo (PVC), es uno de los principales plásticos.   |

DERIVADOS DEL ACETILENO

| PRODUCTOS              | EMPLEOS  |
|------------------------|--|
| Cloruro de vinilo      | - Cloruro de polivinilo (PVC), plásticos.  |
| Per y Tri-cloroetileno | - Limpieza en seco y disolventes desengrasantes  |
| Acetato de vinilo      | - Pinturas y adhesivos.  |
| Cloropeno              | - Cauchos especiales   |
| Acrilonitrilo          | - Base para fibras acrílicas, intermedio para adiponitrilo, una materia prima para el nylon. |

## CONTINUACION

### DERIVADOS DEL PROPILENO

| PRODUCTOS            | EMPLEOS  |
|----------------------|--|
| Alcohol Isopropilico | - Convertido parcialmente en acetona, se emplean como disolvente o intermedio quimico.                   |
| Butanol              | - Disolvente intermedio quimico.   |
| Etil Hexanol         | - Plastificantes.  |
| Heptanos             | - Alcoholes plasticidas  |
| Propileno Tetramero  | - Combinado con benceno se obtiene dodecibenceno para detergentes  |
| Cumeno               | - Materia prima para la producción simultanea de acetona y fenol, un intermedio, para plásticos y nylon. |
| Oxido de Propileno   | - Intermedio para la manufactura de espumas plasticas.   |
| Polipropileno        | - Filmes y plásticos.  |
| Glicerol             | - Productos farmaceuticos y resinas.   |

### PRINCIPALES COMPUESTOS DE LAS OLEFINAS C

4

| PRODUCTOS                               | EMPLEOS                                      |
|---|--|
| <u>n - Butanos</u>                      |  |
| Butanol                                 | - Disolventes                                |
| Metil etil cetona                       | - Disolventes y desparafinado de lubricantes |
| 4 Heptanos                              | - Alcoholes intermedios plasticidas.         |
| <u>Iso - Butenos</u>                    |  |
| Caucho Butilo                           | - Tubos interiores y cauchos                 |
| Polisobuteno                            | - Aditivos de lubricantes                    |
| Di - Isobuteno                          | - Alcoholes intermedios plasticidas.         |
| <u>Butadieno</u>                        |  |
| Copolimeros con Estireno                | - Caucho sintético                           |
| Polibutadieno                           | - Caucho sintético                           |
| Copolimeros con Acrilonitrilo           | - Cauchos especiales                         |
| Copolimero con estireno y acrilonitrilo | - Plásticos                                  |
| Cloropeno                               | - Cauchos especiales resistentes al petroleo |
| Adiponitrilo                            | - Materia prima para nylon.                  |

## C O N T I N U A C I O N

### PRINCIPALES AROMATICOS

| <u>PRODUCTOS</u>    | <u>EMPLEOS</u>  |
|---------------------|---|
| <u>Benceno</u>      |   |
| Estireno            | - Plásticos de poliestireno y caucho sintético                |
| Fenol               | - Intermedio para resinas                                     |
| Ciclohexano         | - Intermedio para la producción de nylon                      |
| Dodecibenceno       | - Detergentes   |
| Anilina             | - Colorantes y aditivos para el caucho                        |
| Anhidrido Maleico   | - Materia prima para plásticos, poliéster de fibra de vidrio. |
| <u>Tolueno</u>      |   |
| Tolueno Desocianato | - Espumas plásticas   |
| Fenol               | - Intermedio para resinas                                     |
| TNT                 | - Explosivos  |
| Disolventes         | - Pinturas y lacas  |
| <u>Xilenos</u>      |   |
| Xileno disolvente   | - Pinturas, lacas e insecticidas                              |
| Acido Tereftálico   | - Fibras poliéster (Terylene)                                 |
| Acido Ftálico       | - Plastificantes y resinas                                    |
| Acido Isoftálico    | - Resinas   |

FUENTE: Centeno, Roberto. "Economía del Petróleo y Gas Natural".  
Editorial TECNOS, S. A., Madrid, España, pág. 237.

C U A D R O 2.12

CONSUMO AFARENTE DE PETROQUIMICOS BASICOS

(miles de toneladas)

| ANOS | (1)<br>PRODUCCION<br>TOTAL | (2)<br>IMPORTACION<br>TOTAL | (3)<br>EXPORTACION<br>TOTAL | (1)+(2)-(3)<br>CONSUMO<br>AFARENTE | TMCA<br>% |
|------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------|
| 1980 | 7,224                      | 762                         | 755                         | 7,231                              | -----     |
| 1981 | 9,160                      | 790                         | 812                         | 9,138                              | 26.3%     |
| 1982 | 10,590                     | 701                         | 873                         | 10,418                             | 14.0%     |
| 1983 | 11,264                     | 582                         | 805                         | 11,041                             | 5.9%      |
| 1984 | 10,943                     | 869                         | 576                         | 11,236                             | 1.7%      |
| 1985 | 11,423                     | 1,188                       | 359                         | 12,272                             | 9.2%      |
| 1986 | 12,025                     | 750                         | 191                         | 12,584                             | 2.5%      |
| 1987 | 13,035                     | 184                         | 195                         | 13,024                             | 3.4%      |

FUENTE: Anuario estadístico 1986, Pemex.  
Memoria de Labores 1987, Pemex.

CUADRO 2.13

## IMPORTACIONES DE PRODUCTOS PETROQUIMICOS BASICOS

(miles de toneladas)

| PRODUCTOS         | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985  | 1986 | 1987 |
|-------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| Acetaldehido      | 58   | 6    | 12   | 42   | 70   | 69    | 26   | --   |
| Acrlonitrilo      | 8    | 19   | 17   | 28   | 34   | 49    | 36   | --   |
| Amoniaco          | --   | --   | --   | --   | --   | 39    | 13   | 151  |
| Benceno           | 14   | 21   | 12   | --   | --   | --    | --   | --   |
| Butadieno         | 54   | 55   | 49   | 45   | 67   | 97    | 43   | --   |
| Ciclohexano       | 10   | 8    | 13   | 3    | 25   | 33    | 19   | --   |
| Cloruro de vinilo | 88   | 84   | 70   | 74   | 198  | 152   | 100  | --   |
| Dodecibenceno     | 41   | 32   | 47   | 54   | 49   | 39    | 5    | --   |
| Etilbenceno       | 10   | 10   | 15   | 6    | 16   | 6     | --   | 3    |
| Estireno          | 76   | 87   | 60   | 65   | 93   | 112   | 49   | --   |
| Isopropanol       | 16   | 15   | 31   | 29   | 43   | 49    | 26   | --   |
| Metanol           | --   | --   | --   | --   | --   | --    | 7    | --   |
| Ortoxileno        | 13   | 12   | 9    | 6    | --   | 9     | 7    | --   |
| Oxido de etileno  | 34   | 31   | --   | --   | 10   | 48    | 2    | --   |
| Paraxileno        | 94   | 147  | 130  | 24   | 118  | 179   | 114  | --   |
| Percloroetileno   | 5    | 16   | 11   | 9    | 15   | 14    | 15   | --   |
| Polietileno A.D.  | 26   | 10   | 17   | 49   | 19   | 42    | 81   | --   |
| Polietileno B.D.  | 104  | 125  | 105  | 88   | 62   | 128   | 76   | --   |
| Tolueno           | 36   | 23   | 12   | --   | 36   | 42    | 47   | --   |
| Otros             | 66   | 82   | 64   | 69   | 99   | 103   | 91   | 30   |
| TOTAL             | 762  | 789  | 701  | 582  | 669  | 1,188 | 748  | 184  |

FUENTE: Anuario estadístico 1986, Femex.  
Memoria de Labores 1987, Femex.

CUADRO 2.14

## CONSUMO APARENTE DE PETROQUÍMICOS BÁSICOS

(miles de toneladas)

| PRODUCTOS                    | 1980  | 1981  | 1982   | 1983   | 1984   | 1985   | 1986   | 1987   | TOTAL  |
|------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Acetaldehido                 | 106   | 128   | 161    | 195    | 217    | 214    | 162    | 158    | 1 341  |
| Acetonitrilo                 | 1     | 2     | 2      | 2      | 2      | 2      | 3      | 3      | 17     |
| Acido cianhidrico            | 9     | 9     | 6      | 6      | 6      | 6      | 8      | 7      | 59     |
| Acido clorhidrico            | 36    | 33    | 47     | 79     | 77     | 63     | 83     | 117    | 535    |
| Acido sulfurico              | 17    | 17    | 19     | 18     | 16     | 16     | 21     | 29     | 153    |
| Acrilonitrilo                | 62    | 73    | 70     | 83     | 83     | 98     | 90     | 58     | 617    |
| Alquilarilo pesado           | 7     | 7     | 7      | 6      | 5      | 7      | 11     | 9      | 59     |
| Amoniaco                     | 1 173 | 1 401 | 1 634  | 1 606  | 1 716  | 2 069  | 1 848  | 2 128  | 13 575 |
| Anhidrido carbonico          | 2 407 | 2 947 | 3 552  | 3 267  | 3 157  | 3 199  | 2 902  | 3 006  | 24 537 |
| Aromaticos pesados           | 48    | 53    | 57     | 86     | 73     | 63     | 66     | 91     | 537    |
| Aromina 100                  | 8     | 9     | 17     | 90     | 128    | 111    | 110    | 119    | 592    |
| Azulfre                      | 402   | 426   | 425    | 377    | 461    | 475    | 456    | 501    | 3 523  |
| Benceno                      | 93    | 97    | 108    | 139    | 143    | 171    | 222    | 269    | 1 242  |
| Butadieno                    | 71    | 67    | 64     | 64     | 87     | 115    | 61     | 21     | 550    |
| Ciclohexano                  | 50    | 52    | 48     | 52     | 56     | 65     | 58     | 52     | 433    |
| Cloruro de vinilo            | 150   | 141   | 149    | 208    | 240    | 270    | 241    | 179    | 1 578  |
| Cuena                        | —     | 2     | 20     | 37     | 33     | 39     | 42     | 38     | 211    |
| Dicloroetano                 | 106   | 117   | 201    | 265    | 220    | 193    | 271    | 326    | 1 499  |
| Dodecibenceno                | 96    | 92    | 109    | 111    | 100    | 100    | 108    | 98     | 814    |
| Especialidades petroquimicas | 5     | 6     | 6      | 4      | 6      | 6      | 6      | 8      | 47     |
| Estireno                     | 107   | 120   | 89     | 89     | 123    | 145    | 118    | 121    | 912    |
| Etano                        | 632   | 1 337 | 1 550  | 1 638  | 1 574  | 1 905  | 2 550  | 2 518  | 13 704 |
| Etilbenceno                  | 39    | 39    | 38     | 30     | 47     | 52     | 91     | 155    | 491    |
| Etileno                      | 366   | 378   | 376    | 645    | 613    | 610    | 744    | 800    | 4 552  |
| Heptano                      | 7     | 7     | 6      | 6      | 9      | 10     | 13     | 9      | 67     |
| Hexano                       | 60    | 66    | 76     | 64     | 94     | 97     | 101    | 98     | 656    |
| Isopropanol                  | 31    | 31    | 42     | 41     | 57     | 64     | 37     | 17     | 320    |
| Metanol                      | 129   | 150   | 153    | 150    | 170    | 192    | 189    | 191    | 1 324  |
| Meta y paraxileno            | 77    | 87    | 99     | 197    | 225    | 247    | 231    | 313    | 1 476  |
| Nitrogeno                    | —     | 30    | 39     | 45     | 47     | 46     | 49     | 49     | 305    |
| Ortoxileno                   | 29    | 29    | 25     | 41     | 26     | 48     | 49     | 68     | 315    |
| Oxido de etileno             | 64    | 79    | 79     | 112    | 107    | 119    | 116    | 95     | 771    |
| Oxigeno                      | —     | 159   | 208    | 214    | 200    | 211    | 206    | 179    | 1 377  |
| Paraxileno                   | 133   | 185   | 166    | 140    | 255    | 289    | 237    | 187    | 1 592  |
| Percloroetileno              | 5     | 16    | 11     | 9      | 15     | 14     | 15     | —      | 85     |
| Poli(etileno) A.D.           | 93    | 88    | 95     | 131    | 95     | 110    | 150    | 76     | 838    |
| Poli(etileno) B.D.           | 195   | 216   | 198    | 176    | 195    | 287    | 318    | 251    | 1 836  |
| Propileno                    | 137   | 156   | 158    | 191    | 208    | 207    | 232    | 257    | 1 546  |
| Sulfato de amonio            | 10    | 7     | 6      | 12     | 7      | 6      | 3      | 7      | 58     |
| Tetraero                     | 36    | 35    | 39     | 30     | 35     | 31     | 51     | 76     | 333    |
| Tolueno                      | 161   | 155   | 150    | 223    | 245    | 262    | 285    | 313    | 1 794  |
| Otros                        | 66    | 82    | 84     | 60     | 97     | 103    | 91     | 30     | 613    |
| TOTAL                        | 7 224 | 9 131 | 10 411 | 11 039 | 11 270 | 12 337 | 12 645 | 13 027 |        |

FUENTE: Anuario estadístico 1986, Pemex.  
Memoria de Labores 1987, Pemex.

CUADRO 2.15

## EXPORTACIONES DE PRODUCTOS PETROQUIMICOS BASICOS

(miles de toneladas)

| PRODUCTOS   | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Amoniaco    | 710  | 782  | 835  | 744  | 440  | 231  | 114  | 144  |
| Aromaticos  | --   | --   | --   | --   | 38   | 32   | 49   | 5    |
| Benceno     | --   | --   | --   | --   | 13   | 7    | --   | 13   |
| Etileno     | --   | --   | --   | --   | 30   | 60   | 23   | 4    |
| Hexano      | --   | --   | --   | --   | 1    | 1    | --   | --   |
| Metanol     | 45   | 30   | 38   | 55   | 27   | --   | --   | --   |
| Ortoxileno  | --   | --   | --   | 4    | 17   | 6    | --   | --   |
| Polietileno | --   | --   | --   | --   | --   | 1    | --   | 24   |
| Tolueno     | --   | --   | --   | --   | 7    | --   | --   | --   |
| Otros       | --   | --   | --   | --   | 2    | --   | --   | --   |
| TOTAL       | 755  | 812  | 873  | 805  | 576  | 337  | 187  | 190  |

FUENTE: Anuario estadístico 1986, Pemex.  
Memoria de Labores 1987, Pemex.

A P E N D I C E " B "

INTRUCCIONES PARA EL MANEJO DEL PAQUETE  
DE PROGRAMACION LINEAL "LINDO"

- 1.- Introducir el disket paquete en la computadora
- 2.- Se le da un ENTER
- 3.- Aparecen dos puntos (:)
- 4.- Se le da la instrucción RETR (llama al archivo)
- 5.- Aparece en la pantalla el nombre del archivo
- 6.- Se le da un ENTER
- 7.- Se da la instrucción LOOK ALL (esta no va a dar la estructura del modelo)
- 8.- Para borrar un renglón se da la instrucción DEL
- 9.- Para imprimir se dan las mismas instrucciones del 1 al 7, despues se dan las siguientes:
  - CTRL PRT (juntos)
  - GO
  - PIC
  - RANGE
  - NONZ
  - CTRL PRT (juntos, para desactivar el sistema)
  - QUIT.

## OPTIMIZACION MATEMATICA.

El problema de optimización matemática consiste en elegir valores de ciertas variables para optimizar una función sujeta a restricciones.

Un planteamiento formal del problema de programación matemática comprende; instrumentos o variables, función objetivo, funciones de restricción conjunto de oportunidad o conjunto factible.

El problema constituye la elección de valores para  $n$  variables  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , llamadas instrumentos o variables, los cuales se agrupan en el vector columna.

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$$

llamado vector instrumental, que es el vector espacio euclidiiano de  $n$  dimensiones  $E^n$ .

El vector instrumental  $X$  es admisible si satisface todas las restricciones del problema, y el conjunto de todos los vectores factibles es el conjunto de oportunidad  $X$ , un subconjunto de  $E^n$ . Dado de que el problema de que se trata es el de elegir un vector instrumental del conjunto de oportunidad, en cualquier problema

que no sea trivial el conjunto de oportunidad es un conjunto no vacío (es decir las restricciones no son incompatibles o inconsistentes y contienen al menos dos puntos distintos).

La Función Objetivo es una descripción matemática del objetivo del problema es una función que valora realmente todos los instrumentos.

$$F = f(x) = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

que supone dada y diferenciable continuamente

El problema general de programación matemática es pues, el de elegir un vector instrumental de un conjunto de oportunidad de modo que maximice el valor de la función objetivo.

$$\text{MAX}_{x \in X} f(x) \text{ sujeta a } x \in X$$

En el cual  $x$  es un subconjunto de  $n$ -espacio euclidiano.

Dado que maximizar  $F(x)$  es equivalente a maximizar  $a + b F(x)$ ,  $b > 0$  o minimizar  $a + b F(x)$ ,  $b < 0$ , tanto las constantes aditivas como las multiplicativas positivas que figuran en la función objetivo no afectan para nada el problema, mientras que los factores constantes negativos (por ejemplo, multiplicar  $F(x)$  por  $-1$ ) pueden utilizarse para convertir los problemas de maximización en problemas de minimización y viceversa.

Los casos especiales más importantes del problema general de programación matemática son programación clásica, la programación no lineal y la programación lineal, nuestro caso requiere ser resuelto por esta última.

## PROGRAMACION LINEAL

El problema de programación lineal, se utiliza para la toma de decisiones relacionadas con el uso eficiente de una serie de recursos de asignación óptima de recursos limitados, mediante la construcción de un modelo matemático, expresado como un sistema de desigualdades lineales (dados por las restricciones en la disponibilidad de recursos) y una función objetivo que se desea maximizar o minimizar (también del tipo lineal). La función objetivo generalmente representa costos o utilidades.

El propósito de la programación lineal es encontrar la solución óptima que maximice o minimice la función objetivo y que satisfaga las restricciones:

En la programación lineal la función objetivo tiene forma lineal.

$$F(x) = (C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n) = CX$$

siendo  $C$  el vector fila de  $n$  constantes dadas

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$$

y las restricciones son de dos tipos: restricciones de desigualdad lineales

$$\begin{pmatrix} A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + \dots + A_{1n}x_n < b_1 \\ A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + \dots + A_{2n}x_n < b_2 \\ \vdots \\ A_{m1}x_1 + A_{m2}x_2 + \dots + A_{mn}x_n < b_m \end{pmatrix}$$

y las restricciones de no negatividad

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

En forma vectorial las restricciones se escriben

$$Ax \leq b, x \geq 0$$

Siendo A la matriz  $m \times n$  dada

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{pmatrix}$$

Vemos aquí que el problema de programación lineal consiste en maximizar una forma lineal dada mediante la elección de variables sujetas a restricciones de desigualdad lineales.

$$\begin{array}{l} \text{MAX } F(x) = cx \text{ sujeta } Ax \leq b \\ x \geq 0 \end{array}$$

El problema de programación lineal es por tanto, el caso especial del problema de programación no lineal para el que tanto la función objetivo como las constantes restricción son todas lineales. Esto se demuestra geoméricamente

En general hay tres soluciones para el PPL

- Una solución única (en el vértice)
- Infinitamente muchas soluciones (entre dos o más vértices)
- Ninguna solución (si el conjunto es vacío no acotado)

Observación:

→ D. H. G. G. G.

$$a \cdot x = b$$

-Si  $a \neq 0 \implies \exists$  una solución única

-Si  $a=b=0 \implies \exists$  un  $\infty$  de soluciones

-Si  $a=0, b \neq 0 \implies$  No hay solución

Los problemas duales

Uno de los hechos más importantes respecto a la programación lineal es que a cada PPL le corresponde un problema dual.

**Problema Primal**  
MAXIMIZAR

En notación matricial

$$\begin{aligned} \max_x \{ f = \frac{c}{1 \times n} \cdot \frac{x}{n \times 1} \\ \text{s.a.} \\ A \frac{x}{n \times 1} &\leq \frac{b}{m \times 1} \\ \frac{x}{n \times 1} &\geq \frac{0}{n \times 1} \end{aligned}$$

i.e.

en notación de sumas

$$\begin{aligned} \max \{ f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \} \\ x_1, x_2, \dots, x_n \\ \text{s.a.} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i=1, \dots, m \\ x_j \geq 0, \quad j=1, \dots, n \end{aligned}$$

donde  $\underline{x}$  es un vector columna

$$\underline{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

**Problema Dual**  
MINIMIZAR

En notación de suma

$$\begin{aligned} \min_y \{ g = yb \} \\ \text{s.a.} \\ A \frac{y}{1 \times n} \geq \frac{c}{n \times 1} \\ \frac{y}{1 \times n} \geq \frac{0}{1 \times m} \end{aligned}$$

en notación de sumas

$$\begin{aligned} \min \{ g(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{j=1}^m b_j y_j \} \\ y_1, y_2, \dots, y_n \\ \text{s.a.} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} y_j \geq c_i, \quad i=1, \dots, n \\ y_j \geq 0, \quad j=1, \dots, n \end{aligned}$$

donde  $\underline{y}$  es el vector renglon

$$\underline{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

Las similitudes entre ambos tipos de problemas son evidentes;

.Ambos involucran encontrar un extremo de una función lineal mediante la elección de variables no negativas sujetas a restricciones de desigualdad lineales.

.Ambos utilizan los mismos parámetros a saber

- la matriz  $A: m \times n$   $a_{ij}$ 's
- el vector columna:  $m$   $b$ 's
- el vector renglón:  $n$   $c$ 's

.Ambos incorporan un total de  $m \times n$  restricciones

.Ambos se pueden representar geoméricamente

Los teoremas fundamentales de Programación Lineal se basan en estas condiciones;

{Existencia de una solución}

#### 1er Teorema de Programación Lineal

Una condición necesaria y suficiente para la existencia de una solución al FPL es que

Los conjuntos de oportunidad de ambos problemas el primal y el dual sean no vacíos.

En otras palabras

$\exists$  una solución  $\iff$  ambos problemas tienen un vector óptimo en  $\mathbb{R}^n$  y tres posibilidades

En general en los problemas duales hay tres posibilidades

. Ambos problemas tienen vector factible y así por el T de existencia ambos tienen soluciones.

. Solo un problema tiene un vector factible en cuyo caso no hay cota sobre su función objetivo.

## 2do Teorema fundamental de la programación (Dualidad)

Una ecuación necesaria y suficiente para que un vector factible represente una solución a un problema es  $\exists$  un vector factible para el problema dual t.q. los valores de las funciones de ambos problemas sean iguales.

La solución del dual es la función del problema primal

La solución del problema primal es el de maximizar.

### Observación:

En tanto que la función objetivo de maximizar es menor e igual al problema de minimizar, la maximización de  $t$  con la elección adecuada de  $x$  y la minimización de  $q$  con la sección de  $y$ , aumenta el nivel de la  $f$  y baja el nivel de  $q$  en la solución.

$$f = q$$

## A P E N D I C E B

### PRODUCCION DE HIDROCARBUROS BASICOS

En esta sección se explicara como se transforman los hidrocarburos vírgenes contenidos en el petróleo y el gas natural en productos más reactivos como son las olefinas, aromáticos ligeros, hidrógeno y monóxido de carbono (bioxido de carbono).

Las olefinas son hidrocarburos acíclicos insaturados. Los de mayor interés en cuanto a sus aplicaciones son aquellos que poseen de dos a cinco átomos de carbono: es decir, el etileno, propileno, n-buteno, butadieno e isopreno.

El etileno y el propileno se puede obtener por medio de un proceso llamado desintegración térmica, usando el etano como carga del proceso de desintegración. En este caso los productos principales de la reacción son el etileno, el metano y el hidrógeno.

El cuadro 1 ilustra la influencia que tienen las diferentes cargas usadas en las desintegradoras térmicas sobre la formación y distribución de sus productos.

Cuadro 1 Porcentajes de productos obtenidos usando diferentes cargas

| productos en %              | cargas usadas en la desintegradora térmica |         |        |       |         |
|-----------------------------|--|---------|--------|-------|---------|
|                             | etano                                      | propano | butano | nafta | gasóleo |
| etileno                     | 80   | 46      | 40     | 33    | 28      |
| propileno                   | 2  | 11      | 14     | 10    | 12      |
| gasolina rica en aromáticos | 1  | 4       | 7      | 20    | 17      |
| gases ligeros               | 12   | 28      | 22     | 19    | 12      |
| metano, hidrógeno           |  |         |        |       |         |
| butilenos                   | 1  | 5       | 10     | 6     | 6       |
| combustibles                | 1  | 1       | 2      | 5     | 19      |

Así por ejemplo, cuando se usa gasolina pesada como carga según las condiciones de operación que se empleen en el proceso, ésta nos puede dar 33% de etileno, 10% de propileno, 20% de gasolina de alto contenido rica en aromáticos, 19% de gases ligeros ricos en metano e hidrógeno, 8% de butilenos entre los que se incluye el butadieno e isopreno, y el 5% de combustóleo (posiblemente formado por la polimerización de las olefinas).

Las olefinas se separan físicamente sometiendo los gases que salen del proceso de desintegración a una serie de separaciones por medio de columnas de destilación. La figura 1 ilustra el proceso.

En esta figura vemos cómo los gases provenientes de la desintegradora (parcialmente licuados) se introducen a la primera columna de destilación llamada demetanzadora, en donde se extrae el hidrógeno y el metano por el domo o parte superior de la columna.

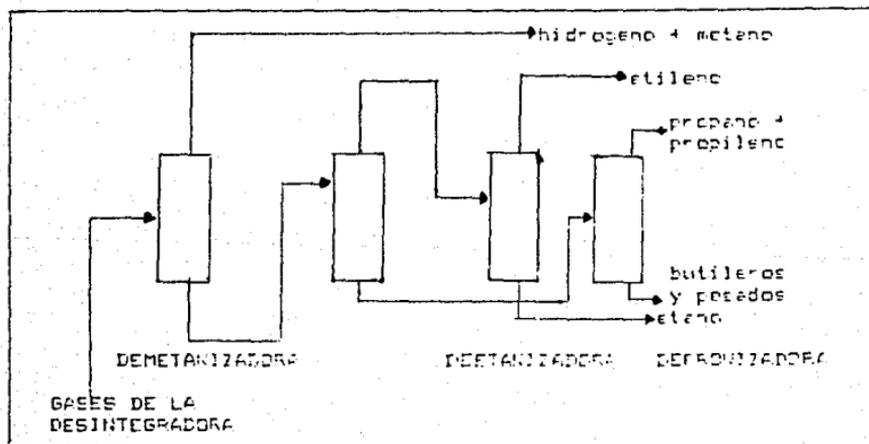


Figura 1. Destilación fraccionada de los gases de la desintegradora.

Los productos que salen del fondo se hacen pasar por una segunda columna llamada deetanizadora, en donde se separan el etano y el etileno por el domo para separarlos entre sí en una tercera columna.

El etileno obtenido en esta última tiene una pureza de 98-99% que es suficiente para la fabricación de óxido de etileno. Pero si se desea usar el etileno para hacer polietileno de alta densidad lineal que requiere pureza de 99.9%, entonces es necesario someter el etileno a procesos de purificación.

La deetanizadora se saca del fondo de la misma y se hace pasar por una columna llamada depropanizadora, en donde se separa por el domo llamada depropanizadora, en donde se separa por el domo una mezcla de propano-propileno.

Existen procesos petroquímicos en donde se puede aprovechar el propileno junto con el propano, como en el caso de la fabricación del tetrámero de propileno usado en los detergentes sintéticos. Pero en otros casos como el de la fabricación de polipropileno es necesario someter la mezcla a purificaciones posteriores.

Por el fondo de la depropanizadora se extrae la fracción que contiene las olefinas con cuatro átomos de carbono en adelante. Esta fracción se somete a otras separaciones para eliminar de la fracción C4 los productos más pesados que fueron arrastrados por los gases de la desintegradora, tales como pentanos, pentenos, benceno, tolueno, etc. (todos ellos líquidos).

Posteriormente, por medio de otros procesos de separación se obtienen los butenos, isobutenos, butano, isobutano, butadieno e isopreno.

AROMATICOS: Estos hidrocarburos se encuentran en la gasolina natural en minimas concentraciones, por lo que resulta incoesteable su extracción.

Por lo tanto, para producirlos se desarrollo el proceso denominado desintegración catalitica, cuya materia prima de carga es gasolina natural o nafta pesada, cuyo alto contenido de parafinas lineales y ciclicas (naftenos) constituye el precursor de los aromaticos.

Uno de los procesos más comunes de refinación catalitica es el llamado "platforming" que se usa como catalizador platino soportado sobre alúminia.

Los productos líquidos de la reacción se someten a otros procesos en donde se separan los aromaticos del resto de los hidrocarburos.

Para separar los aromaticos entre si, se puede utilizar cualquiera de los métodos siguientes: a) destilación azeotrópica (Ver cuadro 2), b) destilación extractiva, c) extracción solvente, d) adsorción sólida, y e) cristalización.

Cuadro 2. Destilación azeotrópica para recuperar tolueno

| porcentaje en volumen   |           | MEK/AGUA | nitrometano | metanol |
|-------------------------|-----------|----------|-------------|---------|
| producto                | olefinas  | 12.0     | 11.0        | 11.0    |
| del doro                | tolueno   | 3.0      | 8.0         | 11.0    |
| producto                | olefinas  | 0.4      | 0.3         | 1.0     |
| del fondo               | parafinas | 0.5      | 0.3         | 0.5     |
|                         | tolueno   | 99       | 99          | 91      |
| recuperación de tolueno |           | 97       | 93          | 89      |

### PRODUCTOS DERIVADOS DEL ETILENO:

Etileno ( $C_2H_4$ ) es una olefina que sirve como materia prima para obtener una enorme variedad de productos petroquímicos.

La doble ligadura olefina que contiene la molécula nos permite introducir dentro de la misma muchos tipos de heteroátomos como el oxígeno para hacer oxido de etileno, el cloro que nos proporciona el dicloroetano, el agua para darnos etanol, etc..

Así mismo permite unir otros hidrocarburos como el benceno para dar etilbenceno y otras olefinas útiles en la obtención de polímeros y copolímeros del etileno.

#### Cuadro 3. Principales derivados del Etileno

---

|             |  |
|-------------|--|
|             | - polietileno alta y baja densidad             |
|             | - etanol                                       |
| ETILENO---- | - dicloroetano----->cloruro de vinilo          |
|             | - Oxido de etileno----->etilenglicol           |
|             | - acetato de vinilo----->etileno-vinil-acetato |
|             | - acetaldehido----->ácido acético              |
|             | - etilbenceno                                  |
|             | - etilol etílico                               |
|             | - propanaldeo                                  |

---

**PRODUCTOS DERIVADOS DEL PROPILENO:** For medio de la polimerización es apreciada la reactividad que tienen las moléculas de propileno. Su ligadura nos permite introducir dentro de la misma una gran variedad de heteroátomos como el oxígeno, nitrógeno, agua y otros hidrocarburos.

Las moléculas de propileno poseen una reactividad mayor que las del etileno.

Algunas de las reacciones que se hacen con el etileno como la hidrotación con ácido sulfúrico para la obtención del etanol, se pueden hacer con el propileno pero en condiciones menos severas.

### Cuadro 3. Principales derivados del propileno

---

|                      |        |                      |
|----------------------|--------|----------------------|
| alcohol isopropílico | ---->  | acetona              |
| - cloruro de alilo   | -----> | epiclorhidrina       |
| - 2-etilhexanol      | -----> | 2-etilhexil acrilato |
| - n-butil alcohol    | -----> | acrilato de butilo   |
| - ácido acrílico     | -----> |                      |
| - óxido de propileno | -----> | propilenglicol       |
| - polipropileno      | -----> |                      |
| - cumeno             | -----> | fenol + acetona      |
| - dodeceno           | -----> | dodecibenceno        |

---

### PRODUCTOS DERIVADOS DE LOS BUTILENOS

En la industria petroquímica, la fracción de los hidrocarburos que contienen cuatro átomos de carbono es de vital importancia. A ésta se le conoce como la fracción de los butilenos.

Los butilenos se obtienen de la fase gaseosa de la desintegradores tanto térmicos como catalíticos. Los hidrocarburos con cuatro átomos de carbono provienen de las desintegradores se separan por diferentes medios, debido a los diferentes intervalos de temperatura indicados.

## LOOK ALL

MAX 671 CACE + 807 CACI + 1441 CALN + 1441 CALF + 264 CAMN + 93 CAZF  
 + 503 CBNC + 100 CBIC + 1525 CBTD + 1525 CCLH + 865 CCDV + 699 CCUM  
 + 414 CDCE + 1179 CDOB + 646 CISP + 343 CMET + 819 COXE + 824 CFCE  
 + 1540 CPAD + 1540 CPBD + 394 CTTM + 646 CEST + 6.83 FACE + 5.33 FACI  
 + 2.5 FACS + 7.5 FALN + 4.3 PALP + 1.5 FAMN + 2.8 FAZF + 5.1 PRNC  
 + 3.1 FBIC + 4.5 FBTD + 1.67 FBET + 5 PCLH + 5.83 PCDV + 7.235 PCUM  
 + 2 PDCE + 6.3 PDDB + 7.2 PETE + 3.1 PETA + 4.06 PETI + 10.46 FEST  
 + 3 PHID + 4.5 PISP + 5 PMET + 2.5 PNAF + 13.65 POXE + 9.83 FPCE  
 + 12.3 PFAD + 12.3 PFPD + 1.99 PFLN + 1.67 PFPL + 3.3 FITM + 7.5 MGNT  
 + 3.5 MCRD + 3 MBET + 3.5 MBNC + 2 MDCE + 2.5 META + 3.1 METI  
 + 2.5 METE + 1.8 MACS + 4.5 MHID + 5 MNAF + 2.5 MAMN + 3 MPLN  
 + 4.5 MPPL + 2 MTTM

## SUBJECT TO

2) 1.05 FACS + .35 FAMN + 1.9 FBIC + 1.5 PETA + 1.02 PHID  
 + 1.29 PMET <= 2551  
 3) - FACS + MACS <= 0  
 4) 1.5 FAZF - MACS <= 20  
 5) CAZF - FAZF <= 0  
 6) CAMN - FAMN + MAMN <= 0  
 7) .5E FALN - MAMN <= 32  
 8) CALN - FALN <= 0  
 9) CBIC - FBIC <= 0  
 10) - PETA + META <= 0  
 11) 1.304 PETI - META <= 1129

## More--

12) - PETI + METI <= 0  
 13) 1.08 FACE + 1.02 FACI + 1.01 FDCE + .28 PETE + .93 POXE  
 + 1.02 PFCE + 1.1 PFAD + 1.12 PFPD - METI <= 675  
 14) CACE - FACE <= 0  
 15) CACI - FACI <= 0  
 16) CDCE - PDCE + MDCE <= 0  
 17) 1.59 PCDV - MDCE <= 0  
 18) CCDV - PCDV <= 0  
 19) - PETE + METE <= 0  
 20) 1.18 FEST - METE <= 0  
 21) CEST - FEST <= 0  
 22) COXE - POXE <= 0  
 23) CFCE - PFCE <= 0  
 24) CPAD - PFAD <= 0  
 25) CPBD - PFPD <= 0  
 26) - PHID + MHID <= 0  
 27) 2.62 FAMN - MHID <= 50  
 28) CMET - PMET <= 0  
 29) 1.12 FBET + 2.5 FNAF + 3.5 PFPL <= 1761  
 30) - FBET + MBET <= 0

- 31) 1.71 FBTD - MBTD <= 0
- 32) CBTD - FBTD <= 0
- 33) - PNAF + MNAF <= 0
- 34) 27 FBNC - MNAF <= 0

--More--

- 35) CBNC - FBNC + MBNC <= 0
- 36) 8.9 FALF + .97 FCLH + .69 FCUM + .57 FDDB + .92 FETB - MBNC  
<= 198
- 37) CALF - FALF <= 0
- 38) CCLH - FCLH <= 0
- 39) CCUM - FCUM <= 0
- 40) CDDB - FDDB <= 0
- 41) - FFPL + MFPL <= 0
- 42) 3.2 FFLN + 6.08 FITM - MFPL <= 28
- 43) - FFLN + MFLN <= 0
- 44) 1.58 FALN + .34 FCUM + .76 F1SF + .002 FFAD - MFLN <= 201
- 45) C1SF - F1SF <= 0
- 46) CT1M - FT1M + MT1M <= 0
- 47) 9.5 FALP + .4 PDDB + .01 FFAD - MT1M <= 0
- 48) MGNT <= 1
- 49) MCRD <= 1

END

## OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 5885091.00

| VARIABLE | VALUE       | REDUCED COST |
|----------|-------------|--------------|
| CACE     | .000000     | .000000      |
| CACI     | .000000     | .000000      |
| CALN     | 55.172420   | .000000      |
| CALP     | .000000     | 37300.220000 |
| CAMN     | 19.083970   | .000000      |
| CAZF     | 13.333330   | .000000      |
| CBNC     | .000000     | 1077.820000  |
| CBIC     | .000000     | .000000      |
| CBTD     | 919.486200  | .000000      |
| CCLH     | 204.123700  | .000000      |
| CCDV     | .000000     | .000000      |
| CCUM     | .000000     | .000000      |
| CDCE     | .000000     | 135.691800   |
| CDDR     | .000000     | .000000      |
| CISP     | 148.561200  | .000000      |
| CMET     | .000000     | .000000      |
| COXE     | .000000     | .000000      |
| CFCE     | .000000     | .000000      |
| CPAD     | 460.526300  | .000000      |
| --More-- |             |              |
| CFED     | 2084.818000 | .000000      |
| CTTM     | .000000     | 2208.776000  |
| CEST     | .000000     | .000000      |
| FACE     | .000000     | 819.030900   |
| FACI     | .000000     | 601.351800   |
| FACS     | .000000     | 683.605700   |
| PALN     | 55.172420   | .000000      |
| FALP     | .000000     | .000000      |
| FAMN     | 19.083970   | .000000      |
| FAZF     | 13.333330   | .000000      |
| FBNC     | .000000     | .000000      |
| FBIC     | .000000     | 1257.250000  |
| FETD     | 919.486200  | .000000      |
| FBBT     | 1572.321000 | .000000      |
| FCLH     | 204.123700  | .000000      |
| FCDV     | .000000     | .000000      |
| FCUM     | .000000     | 673.128700   |
| FDCE     | .000000     | 848.150200   |
| FDDE     | .000000     | 438.618800   |
| PETB     | .000000     | 1273.167000  |
| FETA     | 1656.214000 | .000000      |
| FETI     | 2166.575000 | .000000      |
| PEST     | .000000     | .000000      |
| FHID     | .000000     | 717.102600   |
| -More--  |             |              |
| FISP     | 148.561200  | .000000      |
| FMET     | .000000     | 575.696000   |
| FNAF     | .000000     | 1940.714000  |
| FOXE     | .000000     | 456.313400   |
| FFCE     | .000000     | 579.671800   |
| FPAD     | 460.526300  | .000000      |

|          |             |             |
|----------|-------------|-------------|
| FFLN     | .000000     | 510.708100  |
| FFPL     | .000000     | 2374.932000 |
| ETTM     | 4.605263    | .000000     |
| MGNT     | 1.000000    | .000000     |
| MCRD     | 1.000000    | .000000     |
| MBBT     | 1572.321000 | .000000     |
| MBNC     | .000000     | .000000     |
| MDCE     | .000000     | .000000     |
| META     | 1696.214000 | .000000     |
| METI     | 2166.575000 | .000000     |
| METB     | .000000     | .000000     |
| MACS     | .000000     | .000000     |
| MHID     | .000000     | .000000     |
| MNAF     | .000000     | .000000     |
| MAMN     | .000000     | 95.733350   |
| MPLN     | .000000     | .000000     |
| MPPL     | .000000     | .000000     |
| --More-- |             |             |
| MTTM     | 4.605263    | .000000     |

| ROW      | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES  |
|----------|------------------|--------------|
| 2)       | .000000          | 715.973700   |
| 3)       | .000000          | 65.666670    |
| 4)       | .000000          | 63.866670    |
| 5)       | .000000          | 93.000000    |
| 6)       | .000000          | 264.000000   |
| 7)       | .000000          | 165.766600   |
| 8)       | .000000          | 1441.000000  |
| 9)       | .000000          | 100.000000   |
| 10)      | .000000          | 1070.861000  |
| 11)      | .000000          | 1068.361000  |
| 12)      | .000000          | 1389.082000  |
| 13)      | .000000          | 1385.982000  |
| 14)      | .000000          | 671.000000   |
| 15)      | .000000          | 807.000000   |
| 16)      | .000000          | 549.691800   |
| 17)      | .000000          | 547.691800   |
| 18)      | .000000          | 665.000000   |
| 19)      | .000000          | 558.822100   |
| 20)      | .000000          | 556.322100   |
| 21)      | .000000          | 646.000000   |
| --More-- |                  |              |
| 22)      | .000000          | 815.000000   |
| 23)      | .000000          | 824.000000   |
| 24)      | .000000          | 1540.000000  |
| 25)      | .000000          | 1540.000000  |
| 26)      | .000000          | 10.190540    |
| 27)      | .000000          | 5.690538     |
| 28)      | .000000          | 343.000000   |
| 29)      | .000000          | 802.780700   |
| 30)      | .000000          | 897.444400   |
| 31)      | .000000          | 894.444400   |
| 32)      | .000000          | 1525.000000  |
| 33)      | .000000          | 63.737760    |
| 34)      | .000000          | 58.737760    |
| 35)      | .000000          | 1580.820000  |
| 36)      | .000000          | 1577.320000  |
| 37)      | .000000          | 38741.220000 |
| 38)      | .000000          | 1525.000000  |
| 39)      | .000000          | 699.000000   |
| 40)      | .000000          | 1179.000000  |
| 41)      | .000000          | 433.131000   |
| 42)      | .000000          | 428.631000   |
| 43)      | .000000          | 258.921100   |
| 44)      | .000000          | 655.511100   |

|          |         |             |
|----------|---------|-------------|
| 45)      | .000000 | 646.000000  |
| --More-- |         |             |
| 46)      | .000000 | 2602.776000 |
| 47)      | .000000 | 2600.776000 |
| 48)      | .000000 | 7.500000    |
| 49)      | .000000 | 3.500000    |

NU. ITERATIONS= 57

[ : RANGE (SENSITIVITY) ANALYSIS?

?

: RANGE

## RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

| VARIABLE | OBJ COEFFICIENT RANGES |                       |                       |
|----------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|          | CURRENT<br>COEF        | ALLOWABLE<br>INCREASE | ALLOWABLE<br>DECREASE |
| CACE     | 671.000000             | 819.030900            | 671.000000            |
| CACI     | 807.000000             | 601.351800            | 807.000000            |
| CALN     | 1441.000000            | 55.525340             | 96.144650             |
| CALP     | 1441.000000            | 37300.220000          | INFINITY              |
| CAMN     | 264.000000             | 1878.809000           | 14.909210             |
| CAZF     | 93.000000              | 1025.408000           | 93.000000             |
| CBNC     | 503.000000             | 1077.820000           | INFINITY              |
| CBIC     | 100.000000             | 1257.250000           | 100.000000            |
| CBTD     | 1525.000000            | INFINITY              | 1299.563000           |
| CCLH     | 1525.000000            | 50827.300000          | 946.282300            |
| CCDV     | 865.000000             | 1348.559000           | 215.750000            |
| CCUM     | 699.000000             | 673.128700            | 699.000000            |
| CDCE     | 414.000000             | 135.691800            | INFINITY              |
| CDDB     | 1179.000000            | 438.618800            | 1179.000000           |
| CISF     | 646.000000             | 46.246800             | 26.708390             |
| CMET     | 343.000000             | 575.606000            | 343.000000            |
| COXE     | 819.000000             | 456.313400            | 819.000000            |
| CFCE     | 824.000000             | 579.871800            | 824.000000            |
| CFAD     | 1540.000000            | 144.395800            | 9.703453              |
| --More-- |                        |                       |                       |
| CFBD     | 1540.000000            | 9.879680              | 147.021200            |
| CTTM     | 394.000000             | 2208.776000           | INFINITY              |
| CEST     | 646.000000             | 1502.361000           | 646.000000            |
| FACE     | 6.830000               | 619.030900            | INFINITY              |
| FACI     | 5.350000               | 601.351800            | INFINITY              |
| FACS     | 2.500000               | 663.605700            | INFINITY              |
| FALN     | 7.500000               | 55.525340             | 96.144650             |
| FALP     | 4.500000               | 37300.220000          | INFINITY              |
| FAMN     | 1.500000               | 1878.809000           | 14.909210             |
| FAZF     | 2.800000               | 1025.408000           | 93.000000             |
| FBNC     | 5.100000               | 52399.280000          | 1585.920000           |
| FBIC     | 3.100000               | 1257.250000           | INFINITY              |
| FBTD     | 4.500000               | INFINITY              | 1299.563000           |
| FBBT     | 1.670000               | INFINITY              | 759.978100            |
| FCLH     | 5.000000               | 50827.300000          | 946.282300            |
| PCDV     | 5.830000               | 1348.559000           | 215.750000            |
| PCUM     | 7.235000               | 673.128700            | INFINITY              |
| PDCE     | 2.000000               | 646.150200            | INFINITY              |
| PDDB     | 6.300000               | 438.618800            | INFINITY              |
| PETE     | 7.200000               | 1273.187000           | INFINITY              |
| PETA     | 3.100000               | 63.696610             | 669.309300            |
| PETI     | 4.000000               | 83.321180             | 872.779400            |
| FEST     | 10.460000              | 1502.361000           | 656.460000            |
| FHID     | 3.000000               | 717.102600            | INFINITY              |
| --More-- |                        |                       |                       |
| FISF     | 4.500000               | 46.246800             | 26.708390             |
| FMET     | 5.000000               | 575.606000            | INFINITY              |
| FNAF     | 2.500000               | 1940.714000           | INFINITY              |
| FOE      | 13.650000              | 456.313400            | INFINITY              |
| FFCE     | 5.630000               | 579.871800            | INFINITY              |
| FFAD     | 12.300000              | 144.395800            | 9.703453              |

|          |           |              |             |
|----------|-----------|--------------|-------------|
| 1180     | 12.000000 | 5.875680     | 147.021200  |
| PPLN     | 1.990000  | 510.708100   | INFINITY    |
| FPFL     | 1.670000  | 2374.932000  | INFINITY    |
| PTTH     | 3.300000  | 14439.580000 | 970.345300  |
| MGNT     | 7.500000  | INFINITY     | 7.500000    |
| MCRD     | 3.500000  | INFINITY     | 3.500000    |
| MBBT     | 3.000000  | INFINITY     | 759.978100  |
| MBNC     | 3.500000  | 52399.280000 | 1077.820000 |
| MDCE     | 2.000000  | 848.150200   | 135.691800  |
| META     | 2.500000  | 63.896610    | 669.309300  |
| METI     | 3.100000  | 83.321180    | 872.779400  |
| METB     | 2.500000  | 1273.187000  | 558.822100  |
| MACS     | 1.800000  | 683.605700   | 65.666670   |
| MHID     | 4.500000  | 717.102600   | 10.190540   |
| MNAF     | 5.000000  | 1940.714000  | 63.737760   |
| MAMN     | 2.500000  | 95.733350    | INFINITY    |
| MPLN     | 3.000000  | 510.708100   | 858.921100  |
| MPPL     | 4.500000  | 2374.932000  | 433.131000  |
| --More-- |           |              |             |
| MTTH     | 2.000000  | 14439.580000 | 970.345300  |

RIGHTHAND SIDE RANGES

| ROW      | CURRENT<br>RHS | ALLOWABLE<br>INCREASE | ALLOWABLE<br>DECREASE |
|----------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 2        | 2551.000000    | INFINITY              | 2544.321000           |
| 3        | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 4        | 20.000000      | INFINITY              | 20.000000             |
| 5        | .000000        | INFINITY              | 13.333330             |
| 6        | .000000        | INFINITY              | 19.083970             |
| 7        | 32.000000      | 41.446700             | 32.000000             |
| 8        | .000000        | INFINITY              | 55.172420             |
| 9        | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 10       | .000000        | INFINITY              | 1696.214000           |
| 11       | 1129.000000    | INFINITY              | 2825.214000           |
| 12       | .000000        | INFINITY              | 2166.575000           |
| 13       | 675.000000     | INFINITY              | 2334.996000           |
| 14       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 15       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 16       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 17       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 18       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 19       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 20       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| --More-- |                |                       |                       |
| 21       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 22       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 23       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 24       | .000000        | INFINITY              | 460.526300            |
| 25       | .000000        | INFINITY              | 2084.618000           |
| 26       | .000000        | 19046.060000          | .000000               |
| 27       | 50.000000      | 19046.060000          | 50.000000             |
| 28       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 29       | 1761.000000    | INFINITY              | 1761.000000           |
| 30       | .000000        | INFINITY              | 1572.321000           |
| 31       | .000000        | INFINITY              | 1572.322000           |
| 32       | .000000        | INFINITY              | 919.466200            |
| 33       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 34       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 35       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 36       | 198.000000     | INFINITY              | 198.000000            |
| 37       | .000000        | .000000               | .484765               |
| 38       | .000000        | INFINITY              | 204.123700            |
| 39       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 40       | .000000        | INFINITY              | .000000               |
| 41       | .000000        | 129.061600            | .000000               |

|          |            |           |            |
|----------|------------|-----------|------------|
| 44       | .000000    | INFINITY  | .000000    |
| 44       | 201.000000 | INFINITY  | 112.906500 |
| --More-- |            |           |            |
| 45       | .000000    | INFINITY  | 148.561200 |
| 46       | .000000    | 21.227230 | 4.605263   |
| 47       | .000000    | 21.227230 | 4.605263   |
| 48       | 1.000000   | INFINITY  | 1.000000   |
| 49       | 1.000000   | INFINITY  | 1.000000   |

## OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 5885091.00

| VARIABLE | VALUE       | REDUCED COST |
|----------|-------------|--------------|
| CALN     | 55.172420   | .000000      |
| CAMN     | 19.083970   | .000000      |
| CAZF     | 13.333330   | .000000      |
| CBTD     | 919.486200  | .000000      |
| CCLH     | 204.123700  | .000000      |
| CISF     | 148.561200  | .000000      |
| CFAD     | 460.526300  | .000000      |
| CFBD     | 2084.818000 | .000000      |
| FALN     | 55.172420   | .000000      |
| FAMN     | 19.083970   | .000000      |
| FAZF     | 13.333330   | .000000      |
| FETD     | 919.486200  | .000000      |
| FBBT     | 1572.321000 | .000000      |
| FCLH     | 204.123700  | .000000      |
| FETA     | 1696.214000 | .000000      |
| FETI     | 2166.575000 | .000000      |
| FISF     | 148.561200  | .000000      |
| FFAD     | 460.526300  | .000000      |
| FFBD     | 2084.818000 | .000000      |
| More--   |             |              |
| FTTM     | 4.605263    | .000000      |
| MGNT     | 1.000000    | .000000      |
| MCRD     | 1.000000    | .000000      |
| MBBT     | 1572.321000 | .000000      |
| META     | 1696.214000 | .000000      |
| METI     | 2166.575000 | .000000      |
| MTTM     | 4.605263    | .000000      |

| ROW    | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|--------|------------------|-------------|
| 2)     | .000000          | 715.973700  |
| 3)     | .000000          | 65.666670   |
| 4)     | .000000          | 65.666670   |
| 5)     | .000000          | 92.000000   |
| 6)     | .000000          | 264.000000  |
| 7)     | .000000          | 165.756600  |
| 8)     | .000000          | 1441.000000 |
| 9)     | .000000          | 100.000000  |
| 10)    | .000000          | 1070.801000 |
| 11)    | .000000          | 1068.761000 |
| 12)    | .000000          | 1089.062000 |
| 13)    | .000000          | 1705.982000 |
| 14)    | .000000          | 671.000000  |
| 15)    | .000000          | 607.000000  |
| More-- |                  |             |
| 16)    | .000000          | 545.691800  |
| 17)    | .000000          | 547.691800  |
| 18)    | .000000          | 665.000000  |
| 19)    | .000000          | 558.622100  |
| 20)    | .000000          | 556.322100  |
| 21)    | .000000          | 646.000000  |
| 22)    | .000000          | 819.000000  |
| 23)    | .000000          | 624.000000  |
| 24)    | .000000          | 1540.000000 |
| 25)    | .000000          | 1540.000000 |
| 26)    | .000000          | 10.166660   |