

# EL COLEGIO DE MÉXICO CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS

## **MAESTRÍA EN ECONOMÍA**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
ECONOMÍA

*ANÁLISIS Y PROPUESTAS PARA FOMENTAR EL  
DESARROLLO DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA  
MEXICANA*

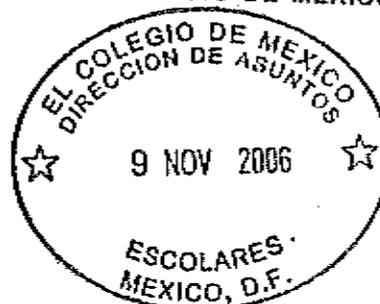
*FABIÁN MÉNDEZ RAMOS*

**PROMOCIÓN 2004 - 2006**

**ASESOR: DR. JOSÉ ANTONIO ROMERO TELLACHE**

OCTUBRE 2006

*Biblioteca Daniel Cosío Villegas*  
EL COLEGIO DE MEXICO, A.C.



**EL COLEGIO DE MÉXICO  
CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS  
MAESTRÍA EN ECONOMÍA  
GENERACIÓN 2004-2006**



**TRABAJO DE TESIS: “ANÁLISIS Y PROPUESTAS  
PARA FOMENTAR EL DESARROLLO DE LA  
INDUSTRIA PETROQUÍMICA MEXICANA”**

***ASESOR: DR. JOSÉ ANTONIO ROMERO TELLAECHE***

***ALUMNO: FABIÁN MÉNDEZ RAMOS***

## **AGRADECIMIENTOS**

Durante mi estadía como estudiante de maestría en economía en El Colegio de México aprendí no sólo conocimiento en materia económica, sino un mejor entendimiento de diversos procesos sociales y de relaciones humanas. Lo anterior no hubiese sido posible sin la ayuda de familiares, maestros, amigos y compañeros de clase.

Gracias a Dios por darme la salud, voluntad y fuerza para continuar con los objetivos y metas trazados arquitectónicamente.

Gracias a mi familia: a mi mamá, a mi papá, y a mis hermanas por su amor, por su paciencia y por su comprensión en este lapso de mi vida.

Gracias a mi abuelita y a Don Alfredo por su cariño, por su entusiasmo y por la energía que siempre me han brindado.

Gracias a mis profesores por su disposición a enseñar, por su agudeza en saber más, por su apoyo enfocado hacia mi persona.

Gracias a mis amigos, que en momentos de alegría y de tristezas han estado ahí dándome su amistad, serenidad e ideas.

Gracias a mis compañeros de clase de El Colegio de México por su amistad, conocimiento y ayuda que siempre me han ofrecido a pesar de las diversas adversidades que se padecieron.

## **RESUMEN**

Este trabajo desarrolla una metodología para analizar la rentabilidad de proyectos petroquímicos bajo distintos escenarios económicos y tecnológicos. Al mismo tiempo la investigación muestra el contexto general y desenvolvimiento durante los últimos años de la industria petroquímica (IPQ) mexicana así como una descripción de temas que se han estimado clave para el establecimiento de una política de desarrollo en el área petroquímica de México.

Esta investigación encuentra factible la inversión en el desarrollo de nuevas plantas petroquímicas en México bajo ciertos escenarios y señala algunos mecanismos que pueden hacer exitosos esta clase de proyectos tanto para el gobierno federal como para privados. A su vez, se encontró que entre mejor sea la tecnología a implementar, mejores condiciones de éxito tendrán las inversiones. Los resultados señalan la posibilidad de implementar una política fiscal a través del precio de la materia prima sin costos finales y al mismo tiempo se fomenta el desarrollo la IPQ mexicana.

Dentro del análisis de la historia reciente de la IPQ mexicana se encuentran resultados que muestran la existencia de cambio estructural en la producción petroquímica agregada durante la década de 1990. Se trató de vincular este rompimiento a los diversos cambios institucionales y legales en México en materia petroquímica, así como al entorno macroeconómico del país.

## INDICE GENERAL

		PÁGINA
<b>I.- INTRODUCCIÓN.</b>		5
	➤ CONSIDERACIONES GENERALES DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA.	5
	➤ CARACTERÍSTICAS DE LA IPQ MEXICANA.	7
<b>II.- LA IPQ MUNDIAL.</b>		9
	➤ HISTORIA DE LA IPQ.	14
	➤ AGLOMERACIONES PETROQUÍMICAS.	18
	➤ ESTRATEGIAS EN LA IPQ.	24
	➤ PROYECTOS PETROLÍFEROS.	31
<b>III.- PRINCIPALES INDICADORES DE LA IPQ EN MÉXICO.</b>		35
<b>IV.- CAMBIO ESTRUCTURAL EN LA PRODUCCIÓN.</b>		38
	➤ ROMPIMIENTO PRODUCCIÓN – VENTAS INTERNAS.	40
	➤ ROMPIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN PETROQUÍMICA MEXICANA.	43
<b>V.- VIABILIDAD DE PROYECTOS PETROQUÍMICOS.</b>		45
	➤ RECAUDACIÓN DE IMPUESTOS.	47
	➤ RECAUDACIÓN DE IMPUESTOS CON ESCENARIOS.	48
	➤ ANÁLISIS DE DATOS PARA LAS EVALUACIONES.	49
	➤ ANÁLISIS DE RESULTADOS.	52
	➤ CONTROL DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO.	59
<b>VI.- REFLEXIONES PARA UNA FUTURA POLÍTICA INDUSTRIAL EN EL SECTOR.</b>		61
<b>VII.- CONCLUSIONES.</b>		65
<b>VIII.- APÉNDICES.</b>		66
	➤ SERIES.	67
	➤ MODELOS DE CAMBIO ESTRUCTURAL.	70
	➤ PRUEBA ANDREWS-KIM.	75
	➤ ESTIMACIÓN NO PARAMÉTRICA.	79
<b>IX.- BIBLIOGRAFÍA.</b>		81
<b>X.- ÍNDICE DE TABLAS.</b>		83
<b>XI.- ÍNDICE DE FIGURAS.</b>		84

## I.- INTRODUCCIÓN

La industria petroquímica (IPQ) mexicana es un sector que causa controversia cuando se trata de señalar cual es la mejor dirección que debe tomar. Algunos arguyen que la petroquímica es un sector que debe estar en manos de privados, mientras que otros sostienen que este sector está en el área de la industria petrolera por lo cual debe considerarse estratégico en el desarrollo del país. En este trabajo se hace una descripción general de la IPQ mexicana y se mencionan algunos puntos relevantes de este negocio que tratan de ampliar la panorámica del mismo.

En los últimos años se ha observado que el volumen a nivel agregado de la producción petroquímica mexicana ha disminuido en comparación con el existente a inicios de la década de 1990, es por esta razón que se analiza la existencia de cambio estructural en este ramo así como las posibles causas del fenómeno.

Los grandes proyectos petroquímicos en México datan de la década de 1980. Las últimas plantas petroquímicas fueron construidas hace más de quince años. Debido a lo anterior en este escrito se realizó la evaluación de la rentabilidad de plantas petroquímicas bajo distintos escenarios.

En esta investigación se ha considerado que dado el entorno internacional es primordial que los diferentes agentes involucrados negocien puntos de acuerdo en el establecimiento del mecanismo del desarrollo del sector, pues durante los últimos años han existido muchas trabas. De esta forma se han descrito temas que se han estimado clave para el establecimiento de una política de desarrollo en el área petroquímica de México.

### CONSIDERACIONES GENERALES DE LA IPQ

La IPQ es una rama productiva que abarca los establecimientos dedicados a la producción de sustancias químicas básicas derivadas del gas natural, el petróleo y el carbón.

La IPQ sirve de plataforma para apoyar el desarrollo y el crecimiento de muchas cadenas productivas además de demandar bienes y servicios de otras industrias, de esta forma es una industria clave en el crecimiento de una economía.

El desarrollo de la química moderna después de más de 50 años ha demostrado que el petróleo es la materia prima ideal para la síntesis de la mayor parte de los productos químicos de gran consumo. Además de su gran abundancia y disponibilidad, está formado por una gran variedad de compuestos que presentan todas las estructuras carboniladas posibles, lo que permite acrecentar aún más las posibilidades de nuevos productos.

La mayor parte de los compuestos petroquímicos son orgánicos. Sin embargo, también varios productos inorgánicos se producen en grandes cantidades a partir del petróleo, por ejemplo el amoniaco, el negro de humo, el azufre y el agua oxigenada.

En el presente, hay solamente en el mundo dos tipos de empresas con la capacidad financiera y tecnológica para invertir en las plantas petroquímicas gigantes o de commodities: *las empresas químicas “grandes”* y *las petroleras*, todavía más grandes.

Con algunas excepciones, las primeras plantas petroquímicas a nivel mundial las instalaron las empresas químicas “grandes”. Sólo en los años cincuenta, al ver el éxito de los nuevos productos petroquímicos, las petroleras comenzaron a invertir en la petroquímica, muchas veces asociadas con empresas químicas. La petrolera ponía la materia prima inicial y parte

del capital, la química ponía el resto: la tecnología y el conocimiento del mercado de productos químicos.

Todos los hidrocarburos usados como materia prima petroquímica pueden usarse como combustible, principio básico del cual se deriva que la industria petroquímica no consume tanto petróleo crudo y gas natural como para estabilizar sus precios. El valor alterno como combustible de cualquier hidrocarburo es a su vez el mínimo que tendrá como materia prima petroquímica.

Existen factores políticos que pueden alterar el precio de los hidrocarburos grandemente: las naciones productoras de petróleo pueden decidir aumentar o disminuir la producción lo cual provocará una disminución o un aumento en el precio.

Las materias primas básicas para la petroquímica son: 1) gas natural (metano y etano); 2) olefinas ligeras de refinación; 3) gas licuado de petróleo (propano y propileno), y 4) nafta del petróleo (aromáticos).

Muchos de los productos petroquímicos son commodities (producciones de gran volumen) donde las economías de escala imperan.

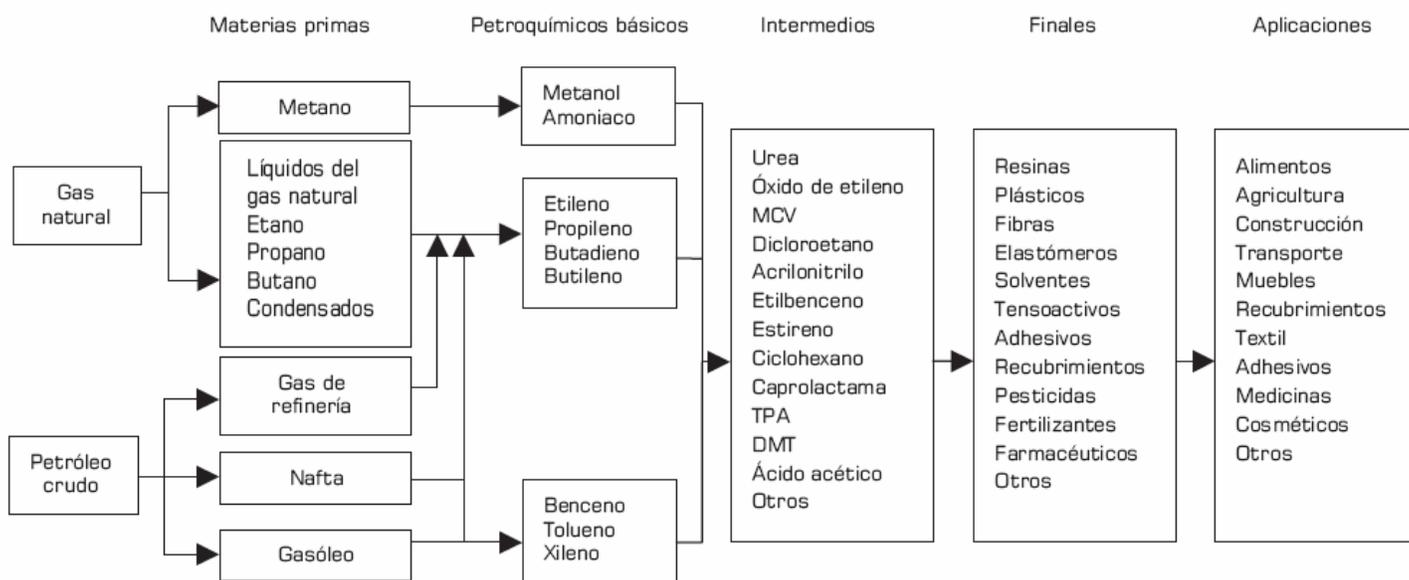
Como una respuesta a las necesidades y al crecimiento acelerado en el mundo, la industria petroquímica procesa y obtiene una serie de derivados del petróleo y abastece una gran variedad de industrias que encadenadas entre sí, cubren la demanda mundial y el uso final de farmacéuticos, fertilizantes, pesticidas, medicinas, fibras sintéticas, plásticos, resinas, solventes, jabones y detergentes, artículos para el hogar, entre otros.

La mayor parte de la producción de químicos es dominada actualmente por la industria petroquímica. Las olefinas, los aromáticos, el metanol y el amoniaco se consideran como precursores de los petroquímicos de primer nivel, aunque más vulnerables a factores como la sobrecapacidad y la volatilidad en los costos de la materia prima debido a su característica de commodities.

Algunos puntos que se consideran clave en el funcionamiento de la industria petroquímica:

- 1) Inversión inicial cuantiosa.
- 2) Materia prima.
  - a. Abastecimiento abundante y continuo.
  - b. Variabilidad de precios.
- 3) Período de vida de las plantas de 10 a 15 años.
- 4) Economías de Escala.
- 5) Cuantiosos gastos en I&D (investigación y desarrollo de nuevos productos) y/o gastos en licenciamientos según sea el caso.
- 6) Mano de obra especializada.

**Figura 1. Principales cadenas productivas de la industria petroquímica**



Fuente: anuario estadístico petroquímica 2003, SENER

### CARACTERÍSTICAS DE LA IPQ MEXICANA

La industria petroquímica mexicana, tiene su origen desde el momento en que el petróleo es expropiado en 1938 y nace en 1959 con la primera planta de dodecibenceno, pero es hasta la década de los sesenta cuando comienza una expansión y desarrollo importante hasta 1982, acorde con las necesidades del país y el especial contexto internacional.

La historia de la industria petroquímica muestra una evolución de tres periodos<sup>1</sup>:

El primero de ellos, que va de los años inmediatos a la terminación del conflicto de la Segunda Guerra Mundial hasta principios de los años setenta, en donde la decisión de impulsar el mercado interno, particularmente el agropecuario, con base en un esquema económico de sustitución de importaciones y la propia dinámica del sector petrolero, condicionaron el establecimiento de plantas petroquímicas asociadas a la extracción y procesamiento de hidrocarburos para la producción de fertilizantes y otras materias primas de uso industrial.

En esta primera etapa, la industria petroquímica, por razones estratégicas de política nacional, hubo de satisfacer por sí misma los requerimientos crecientes de materias primas tanto para sustentar el importante crecimiento del campo mexicano como la incipiente creación de un sector industrial nacional.

El segundo periodo va, de principios de los años setenta hasta la crisis de la deuda de 1982, y se caracterizó por el establecimiento de instalaciones petroquímicas de gran escala y la producción masiva de una amplia variedad de productos requeridos para la acelerada transformación manufacturera y del consumo del país.

<sup>1</sup> Fuente: SENER.

Como eje de la política nacional de desarrollo se utilizó la estrategia de continuar con el modelo de sustitución de importaciones basado en el mercado interno; ampliar la producción de gas y otros hidrocarburos asociados al petróleo y fincar las bases para el desarrollo de las manufacturas basado en productos petroquímicos nacionales.

La década de los setenta, caracterizada por la gran inestabilidad en los precios del petróleo, trajo consigo, particularmente entre 1976 y 1982, un aumento considerable en la oferta nacional de productos petroquímicos a precios reducidos, subsidios a la inversión y producción privada que enlazaban sus procesos de fabricación a la industria petroquímica y, un crecimiento general acelerado a escala internacional de la petroquímica mexicana. Es en este periodo cuando se diseñaron y construyeron dos de los más grandes complejos petroquímicos: La Cangrejera y Morelos.

El tercer y último periodo, abarca desde la crisis económica y financiera nacional de 1982 hasta nuestros días. La concepción y el papel que desde entonces se le ha asignado al Estado en la economía y los procesos de apertura comercial y financiera en todo el mundo transformarían no sólo el desarrollo de esta industria si no también su participación como impulsora en las cadenas productivas del país.

En México los productos petroquímicos fueron reclasificados en agosto de 1992 en tres categorías: básicos, secundarios y desregulados. Los productos básicos son ocho: etano, propano, butano, pentano, hexano, heptano, negro de humo y nafta. En 1996 se agregó el metano proveniente del gas natural. Los productos petroquímicos secundarios son trece: acetileno, amoniaco, benceno, butadieno, butilenos, etileno, metanol, n-parafina, propileno, tolueno y xilenos (orto, meta y para). El resto de productos petroquímicos se consideran desregulados. En la actualidad sólo se consideran regulados a los productos petroquímicos básicos.

El Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) despejó mucho más el camino para el aumento de las inversiones extranjeras en el sector energético que para el acceso directo de bienes y servicios. El TLCAN abrió nuevas oportunidades al capital extranjero al fijar reglas claras para competir especialmente en el renglón de las compras gubernamentales, abrir el área de la petroquímica secundaria y establecer la posibilidad de contratos de servicios (contract services)<sup>2</sup>.

Petróleos Mexicanos (PEMEX) es la empresa paraestatal que se encarga de la producción de petroquímicos básicos a través de su subsidiaria PEMEX-Gas y Petroquímica Básica. Los petroquímicos secundarios (actualmente no básicos) los produce su subsidiaria PEMEX-Petroquímica. Cabe mencionar que en julio de 1992 se modificó la Ley Orgánica de PEMEX para reestructurar la empresa transformándola en 4 compañías subsidiarias: PEMEX-Petroquímica, PEMEX-Gas y Petroquímica Básica, PEMEX- Refinación; y PEMEX-Exploración y Producción. Así mismo en esta época se establece el marco regulatorio para la creación de empresas de economía mixta en la petroquímica secundaria (con capital privado minoritario). Actualmente la petroquímica secundaria está abierta a la inversión privada en un 100%, no obstante los inversionistas nacionales y extranjeros se

---

<sup>2</sup> Alvarez Bejar, Alejandro. *PEMEX: de la reestructuración a la privatización*. Facultad de Economía, UNAM, Ponencia Congreso de la Asociación de Estudios Latinoamericanos (LASA), Guadalajara, México, Abril, 1997.

han mostrado renuentes a invertir si no se les asegura el abasto de materia prima<sup>3</sup> y un esquema de precios adecuado debido a la volatilidad de los precios del petróleo.

En mayo de 1995 – durante el régimen de Ernesto Zedillo – se aprobaron cambios legales para permitir a privados – nacionales y extranjeros – invertir en infraestructura para el transporte, almacenamiento y comercialización de gas natural, el cual, como ya se mencionó, también puede ser materia prima en la producción de petroquímicos.

Cabe hacer notar que PEMEX-Petroquímica se desarticuló en 1997 con el propósito de capitalizarla con la participación de los particulares en las empresas filiales, situación que no se concretó y ocasionó la desintegración de las cadenas productivas, como la del metano y del etano, entre otras.

En abril de 2006 la Secretaría de Energía<sup>4</sup> anunció la conclusión del proceso de fusión de las empresas filiales de PEMEX-Petroquímica con la idea de que este hecho permitirá mejorar la competitividad y productividad de esta empresa estatal. El esquema propuesto evita erogaciones innecesarias en PEMEX-Petroquímica y establece un precedente al ser el primer caso en el que un organismo descentralizado de la administración pública paraestatal realiza un proceso de fusión por absorción. La fusión de las empresas filiales de PEMEX-Petroquímica comprende la absorción de Petroquímica Camargo, Petroquímica Cangrejera, Petroquímica Cosoleacaque, Petroquímica Escolín, Petroquímica Morelos, Petroquímica Pajaritos y Petroquímica Tula.

El 28 de abril de 2006 se concluyó el proceso de fusión con la inscripción en los registros públicos de comercio en los diferentes domicilios de las filiales, por lo que el organismo PEMEX-Petroquímica opera en forma consolidada desde el 1 de mayo de 2006, concentrando todas las funciones administrativas, operativas y comerciales de las entidades fusionadas.

## II.- LA IPQ MUNDIAL

La estructura actual de la industria petroquímica se sustenta en la transformación que ésta ha sufrido mundialmente ante el reto de operar en un ambiente cada vez más agresivo y competido.

La industria petroquímica internacional se transforma aceleradamente. Las empresas del sector promueven numerosas alianzas estratégicas y optan por la relocalización de las instalaciones productivas en mercados con mayor demanda de productos terminados o en zonas donde existan bajos costos de materias primas, tales como Asia y Medio Oriente respectivamente.

La historia de la industria petroquímica sugiere que ésta ha sido un componente necesario del crecimiento económico en las naciones desarrolladas durante el siglo XX. Su futuro papel en países menos desarrollados es incierto debido a los altos costos de entrada y a requerimientos tecnológicos<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> Shields, David; *PEMEX: un futuro incierto*; México, Editorial Planeta, 2003.

<sup>4</sup> SENER, abril de 2006, boletín No. 20.

<sup>5</sup> Clark, Jonh G (review author). *The international petrochemical industry*. The economic history review, new series. Vol. 46 (Nov. de 1993), pp 842-843.

La industria petroquímica mundial experimentó desde 1997 a 2003 otro ciclo recesivo provocado por inversiones muy cuantiosas y la generación posterior de capacidades productivas temporalmente excedentes a nivel mundial, desatando una guerra abierta en el mercado internacional, en donde todos los productores quieren mantener su posición de mercado e inclusive penetrar en mercados vulnerables debido a la existencia de productores con costos elevados; éstas guerras económico-estratégicas se agravan en periodos de crisis.

En la actualidad la industria se encuentra a la mitad de su ciclo hacia arriba en esencialmente todos los segmentos del mercado, donde las ganancias permanecerán elevándose hasta el 2006 y en 2007 sufrirá el ciclo un pequeño cambio en la pendiente, haciéndose menos positiva, no obstante el siguiente ciclo recesivo se espera que sea entre 2008 y 2010 y será significativamente menos severo que el anterior. La industria se considera que tendrá ganancias significativas en los próximos años, no obstante, existen otros puntos importantes a considerar en el análisis de este sector: 1) alta demanda por consumo petroquímico dentro y fuera de China, 2) rápida adición de capacidad instalada fuera del Golfo Pérsico, 3) la duración de los picos de ganancias en las cadenas productivas, 4) la permanencia de las oportunidades para mejorar la integración de la industria, y 5) la globalización de las cadenas de oferta<sup>6</sup>.

La industria petroquímica a nivel mundial marcha a través de una transición caracterizada por cambios extremadamente profundos, en donde la escala y la integración vertical, sustentados en costos de materias primas muy competitivos, son cada vez más importantes y quizá una condición para el éxito y la supervivencia.

Desde el inicio de la década de los ochentas, las empresas petroquímicas se han concentrado cada vez más, en negocios en donde pueden sustentar una posición de liderazgo en una región geográfica o a escala global, dando como resultado la venta, fusiones e intercambio de aquellos negocios que son demasiado pequeños o que sufren por una posición débil de costos.

Particularmente, aquellos países y empresas que poseen petróleo de bajo costo o gas, continúan expandiendo sus operaciones de derivados con plantas de escala mundial para capturar el mayor valor agregado posible y convertirse en productores de bajo costo en una industria integrada.

La recesión o ciclo a la baja en la industria petroquímica hacia finales de los ochentas, a principio de los noventas y la de finales de los noventas y principios de milenio, han promovido un sin número de alianzas estratégicas, buscando también o al menos intentando, ser capaces de enfrentar los ciclos de depresión de una industria global y que pareciera acostumbrarse a este tipo de eventos.

La necesidad de reducir costos, a través de alcanzar economías de escala en la industria petroquímica y química se ha convertido en la principal motivación para buscar alianzas entre competidores, clientes y proveedores.

En la actualidad se presentan cambios estructurales profundos en algunas regiones que promueven las alianzas con una tendencia para los productores de operar con menos proveedores; utilizando sólo proveedores claves, que apoyen la estrategia de la empresa.

---

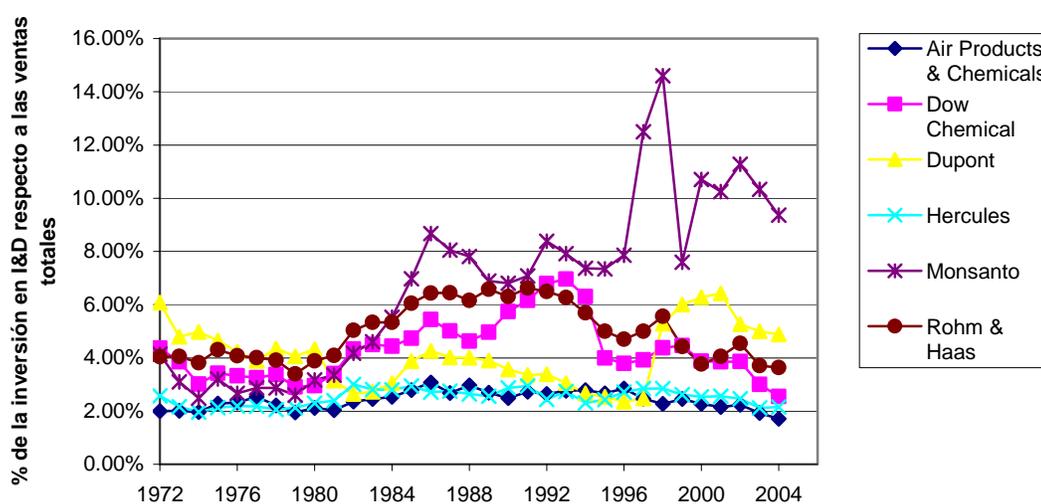
<sup>6</sup> CMAI Annual Petrochemical Conference, con información de Wendy Weirauch, *Petrochemicals: profile of market recovery*. Hydrocarbon Processing (international edition) v84, No. 5, pp. 17, Mayo 19 de 2005.

Los riesgos que implica el invertir en una nueva planta hacen que la opción de co-inversión a través de una alianza se convierta en lo más atractivo y conveniente. Esto otorga a los socios el beneficio de combinar un mercado, tecnología y posición geográfica de un competidor. En la medida en que los mercados de la industria petroquímica continúen globalizándose, la creación de co-inversiones entre competidores de otras zonas en el mundo se consolidará como el modelo más común para alcanzar una posición geográfica más diversificada.

Las empresas petroleras mundiales y las grandes empresas químicas invierten grandes sumas de dinero en proyectos de investigación y desarrollo (I&D) de nuevos productos y tecnologías ya que es una forma de incrementar la competitividad de la firma. La inversión que realizan estas empresas es cuantiosa y tiene cierto riesgo, además los proyectos de investigación se realizan en periodos muy largos, de 2 a 10 años.

Por lo anterior, es importante saber que tanto invierten en sus centros de I&D estas empresas. Se han seleccionado a algunas firmas estadounidenses con el fin de observar el comportamiento en esta materia.

**Figura 2. Inversión en I&D como % de las ventas totales**



Fuente: elaboración propia con datos de C&EN, varios números.

En las tablas 14 y 15 y en la figura 2 se puede observar que la proporción de la inversión en investigación y desarrollo con respecto a las ventas netas de algunas empresas del sector petroquímico y químico de los Estados Unidos oscila entre los 2% y los 6%. Sin embargo, existen periodos excepcionales como el comprendido en la segunda mitad de la década de 1980 y la primera parte de la década de 1990 donde empresas como Rohm & Haas y Dow Chemicals tuvieron un índice de inversión en investigación y desarrollo superior al 6%. Cabe destacar que en esta gráfica aparece la empresa Monsanto, dedicada al sector de químicos básicos y agroquímicos, donde la estrategia a partir de la segunda década de 1980's fue el aumento de la inversión en I&D muy por encima del 6%, de esta forma alcanzó una proporción de de 14.6% a inicios del milenio.

También la inversión que realizan las empresas petroquímicas y químicas va de la mano de las políticas del país al que pertenecen. Muchas empresas en Estados Unidos, Alemania,

Japón, etc. son incentivadas por el gobierno con el fin de que aumenten la inversión en materia de I&D para ir de acuerdo a los planes de desarrollo nacionales correspondientes.

Por ejemplo, en Febrero de 2006 el equipo de la Casa Blanca del Presidente de los Estados Unidos de Norteamérica publicaba el presupuesto de los Estados Unidos en donde lo correspondiente a I&D es de 137 mil millones de dólares para el 2007, lo cual representa un incremento del 50% desde el 2001. En este presupuesto se menciona que la inversión en materia de I&D es una fuente de crecimiento de la competitividad estadounidense y que la industria privada y el Gobierno Federal juegan papeles muy importantes<sup>7</sup>.

Los descubrimientos científicos y las innovaciones tecnológicas generan incontables avances en nuestro entendimiento del mundo, ellos mejoran la calidad de vida. Por ende la ciencia y tecnología han generado el crecimiento de la mayoría de las naciones en los últimos 50 años, y estos avances han sido posibles sólo a través de la inversión pública y privada en I&D.

El mercado tecnológico en el sector petroquímico esta controlado por unas cuantas empresas licenciadoras. En algunas áreas del negocio las propias empresas productoras son las dueñas de la tecnología más avanzada, provocando barreras a la entrada a posibles competidores. En otros casos, los licenciadores venden su tecnología de proceso asociada a tecnología de catalizadores, los cuales son en muchas ocasiones, la parte central del negocio tecnológico.

Durante el siglo pasado la visión de las empresas petroleras por obtener un mayor rendimiento a sus ganancias proporcionando productos de mayor calidad dio origen a la investigación en materia petroquímica, la cuál ha sido muy fructífera en el desarrollo de nuevos procesos químicos, los cuales han dado una mayor calidad de vida a gran parte de la humanidad.

Desde la mitad del siglo veinte, los científicos químicos que trabajan con los hidrocarburos del petróleo lograron crear numerosos productos, que no sólo han aliviado la escasez de materiales naturales, sino además, han logrado sintetizar materiales plásticos, adhesivos y otros muchos, que tienen propiedades sorprendentes y que han facilitado el avance del conocimiento científico y tecnológico de lo infinitamente pequeño y de lo infinitamente grande.

Los petroquímicos no se consideran como un tipo o clase particular de productos químicos, ya que muchos de ellos han sido y continúan siendo fabricados con otras materias primas. Así por ejemplo, el benceno, el metanol y el acetileno se pueden producir a partir del carbón de hulla. El glicerol se puede obtener a partir de las grasas, el etanol por fermentación de la caña de azúcar, el azufre de los depósitos minerales. Sin embargo, todos ellos también se producen a partir del petróleo y en grandes volúmenes. Algunos productos químicos se obtienen en la actualidad casi totalmente del petróleo. Un caso típico es el de la acetona que originalmente se producía de la destilación de la madera, y posteriormente de la fermentación de los productos agrícolas. En el mismo caso se encuentra el cloruro de etilo que antiguamente se fabricaba a partir del etanol y actualmente sólo se fabrica industrialmente a partir de derivados del petróleo.

---

<sup>7</sup> *Budget of the United States Government, Fiscal Year 2007.*

El desarrollo de la química moderna después de más de 50 años ha demostrado que el petróleo es la materia prima ideal para la síntesis de la mayor parte de los productos químicos de gran consumo. Además de su gran abundancia y disponibilidad, está formado por una gran variedad de compuestos que presentan todas las estructuras carboniladas posibles, lo que permite acrecentar aún más las posibilidades de nuevos productos.

La importancia de la petroquímica estriba en su capacidad para producir grandes volúmenes de productos a partir de materias primas abundantes y a bajo precio.

La mayor parte de los compuestos petroquímicos son orgánicos. Sin embargo, también varios productos inorgánicos se producen en grandes cantidades a partir del petróleo, como por ejemplo el amoníaco, el negro de humo, el azufre y el agua oxigenada.

La industria petroquímica emplea ante todo como materias primas básicas las olefinas y los aromáticos obtenidos a partir del gas natural y de los productos de refinación del petróleo: el etileno, propileno, butilenos, y algunos pentenos entre las olefinas ligeras, y el benceno, tolueno y xilenos como hidrocarburos aromáticos.

Los mercados de productos químicos se han ampliado con nuevos productos, muchos de los cuales combinan alta calidad y bajo precio; además se ha modificado la actitud de muchos consumidores de productos químicos, los cuales se han vuelto más exigentes y demandan ahora productos con características muy específicas, que deben diseñarse a la medida.

Si se desea producir petroquímicos a partir de los hidrocarburos vírgenes contenidos en el petróleo, es necesario someterlos a una serie de reacciones, según las siguientes etapas:

1. Transformar los hidrocarburos vírgenes en productos con una reactividad química más elevada, por ejemplo, el etano, propano, butanos, pentanos, hexanos etc., que son las parafinas que contiene el petróleo, y convertirlos a etileno, propileno, butilenos, butadieno, isopreno, y a los aromáticos ya mencionados.
2. Incorporar a las olefinas y a los aromáticos obtenidos en la primera etapa otros heteroátomos tales como el cloro, el oxígeno, el nitrógeno, etc., obteniéndose así productos intermedios de segunda generación. Es el caso del etileno, que al reaccionar con oxígeno produce acetaldehído, ácido acético y óxido de etileno.
3. Efectuar en esta etapa las operaciones finales que forman los productos de consumo. Para ello se precisan las formaciones particulares de modo que sus propiedades correspondan a los usos que prevén.

Los hidrocarburos usados como materias primas petroquímicas tienen un papel crucial, y se interrelacionan con el gran negocio de los combustibles: gas LP, gasolina, diesel, combustóleos, etc. El consumo de combustibles ejerce gran fuerza sobre el precio de los petroquímicos, efecto que se manifiesta en múltiples formas, más notorias en los países donde la industria petrolera no es estatal sino privada, como en Estados Unidos.

Las plantas petroquímicas grandes, generalmente las que inician las cadenas petroquímicas o las que están más cerca de los hidrocarburos de las refinerías, requieren fuertes movilizaciones de capital. Las inversiones en una planta rara vez son menores de 100 millones de dólares y en ocasiones sobrepasan el millar. Esas inversiones son comparables a las usuales en la industria petrolera. Dichas plantas son costosas no solamente por su

tamaño, en ocasiones los equipos requieren materiales de construcción de elevado precio, para evitar la corrosión acelerada y para reducir los riesgos de accidentes. Además, la automatización y los equipos para reducir la contaminación son otros elementos que contribuyen al elevado costo.

Esto refuerza la importancia de mantener estrategias de integración, tanto vertical como horizontal, ya que dotan a las empresas de mayor flexibilidad en cuanto a su producción y atenúan el impacto de la diferente evolución de los precios en las distintas etapas de la cadena. Asimismo, en las fases depresivas del ciclo del precio y producción de etileno se evidencian las ventajas de las compañías que pertenecen a conglomerados de alta diversificación sectorial y mayor capacidad de movilización de recursos financieros.

El incremento de escala en las actividades petroquímicas ha tenido implicaciones no sólo en su relación con la refinación del petróleo por el lado de los insumos, también una modificación en el comportamiento aguas abajo. Para que exista un proyecto rentable en petroquímica básica es necesario que existan co-productos y subproductos que hagan rentable al mismo. El concepto de un modelo de “complejo industrial” en el cual las sucesivas etapas de producción estén encadenadas entre ellas para formar un sistema integrado de producción-consumo ha sido usado para planear objetivos tanto en el sector privado como en el sector público. Más específicamente, la industria petroquímica ha sido percibida como una industria que se enfoca en el desarrollo de estrategias basadas en la creación de complejos industriales autosuficientes<sup>8</sup>.

## HISTORIA DE LA IPQ

La industria química orgánica es ahora virtualmente sinónimo de la industria petroquímica<sup>9</sup>. Sin embargo, la industria petroquímica es definida no por ser distintiva de sus productos, pero sí por las materias primas de las que parte. Muchos de los productos clave de la industria petroquímica primero fueron desarrollados de otras materias primas, especialmente del carbón natural, y sus propiedades fueron exploradas largo tiempo antes de que el término “petroquímica” hubiera adquirido su significado contemporáneo. El trabajo pionero en este campo estableció los principios científicos de la química orgánica, este se asocia particularmente con los esfuerzos de Liebig en Alemania, quien creó un impresionante laboratorio de investigación en la Universidad de Huesen en los 1820's y también inspiró una sucesión académica de discípulos. Mucho esfuerzo fue desarrollado para la derivación de verdaderas fórmulas de compuestos orgánicos y de los principios teóricos más allá de los que la química orgánica utiliza, este conocimiento generado fue razonablemente bien entendido a mediados de los 1860's. Este conocimiento fue crucial para dejar en el saber científico que moléculas complejas pueden ser sintetizadas por encadenamientos entre simples moléculas.<sup>10</sup>

El desarrollo de los colorantes sintéticos ha sido extensivamente estudiado, especialmente cuando se considera la relativa significancia de factores tales como el empuje de la ciencia de la época y la existencia de una demanda de productos a la contribución del rápido

<sup>8</sup> Chapman, Keith. *The international petrochemical industry: evolution and location*. Blackwell, 1991. pp 133-136.

<sup>9</sup> Reuben, B. G. and Burstall, M. L. 1973. *The chemical economy*. London: Longman, pp 196.

<sup>10</sup> Chapman, Keith. *The international petrochemical industry: evolution and location*. Blackwell, 1991. pp 39-40.

crecimiento de la industria. El crecimiento de colorantes sintéticos tuvo un profundo impacto más allá de la química orgánica. La industria de los colorantes sintéticos fue responsable de la creación de la química orgánica industrial, la cual existía vagamente antes de 1850.

Los requerimientos de la industria textil fueron el principal componente que estimuló a la demanda de colorantes sintéticos a mediados de siglo, pero el mayor desafío para la industria química a lo largo del siglo fue la fijación de nitrógeno atmosférico para solventar la necesidad de fertilizantes. Aunque muchas aproximaciones para fijación de nitrógeno fueron desarrolladas antes de 1914, por mucho el más significativo proceso fue desarrollado en Alemania a través de la cooperación de Fritz Haber, un profesor de la Universidad Karlsruhe, y Carl Bosh, un ingeniero de BASF (Badischer Anilin- und Soda-Fabrik) quién había construido su éxito en colorantes para tener la empresa química alemana más importante. Con esto, los fertilizantes sintéticos desplazaron a los naturales como la sal nitro que importaba Europa desde Chile en grandes cantidades.

El proceso Haber-Bosch para la síntesis de amoníaco representa uno de los más importantes avances de la industria química, y uno que ha contribuido significativamente en la muestra de la agudeza de la estructura contemporánea de la industria química.

La síntesis del amoníaco fue pionera de muchas de las técnicas de la industria química las cuales fueron subsecuentemente empleadas en la manufactura petroquímica, sin embargo, los avances en la industria del acetileno proporcionaron las bases para el trabajo posterior sobre el etileno. El primer uso significativo del acetileno fue para la iluminación, lo cual generó competencia con el gas de carbón natural. Los procesos comerciables para su manufactura fueron desarrollados simultáneamente en Francia y en Estados Unidos en 1892, y los orígenes de lo que era la corporación Union Carbide (actualmente fusionada en Dow Chemicals) podrían ser localizados con este descubrimiento.

Durante la tercera y cuarta décadas del siglo XX se investigó y se lograron crear productos con características mejores que los naturales, usando como materia prima los hidrocarburos del petróleo. Esto ocurrió casi un siglo después de que el químico Adolfo Von Bayer fabricara en la pequeña empresa que fundó entonces, los primeros colorantes sintéticos producidos industrialmente.

Más tarde, se crearon otros productos como: el nylon o el hule butilo, este último unas diez veces más impermeable al aire que el hule natural; el dodecil-benceno con el que se obtienen los detergentes domésticos, que tienen un poder de lavado muy superior a los jabones tradicionales de aceites naturales; el polietileno que sustituye con ventajas técnicas y económicas a varios usos del papel, de la madera y de otros productos tradicionales. Las fibras químicas como nylon, poliéster y acrílicas tienen ventajas sobre el algodón y la lana.

La petroquímica se desarrolló mejor en aquellos países que contaban con una industria petrolera ya establecida y con un mínimo de capacidad tecnológica; por eso no es raro que las primeras plantas petroquímicas se hayan instalado en Estados Unidos, país que ya tenía en la tercera década del siglo XX una industria petrolera bastante desarrollada, incluso ya investigaba y mejoraba los procesos de refinación y de petroquímica.

A pesar de que durante los años 1920's y 1930's se instalaron algunas plantas petroquímicas en Estados Unidos, el desarrollo espectacular de la petroquímica, tanto en volumen como en el número de procesos y productos, tuvo lugar durante la Segunda

Guerra Mundial. Fue necesario sustituir el hule natural que llegaba antes del lejano oriente y que por la Guerra ya no llegaba a Estados Unidos (EUA); esto motivó el programa de fabricación de hule sintético más grande que se haya conocido. En menos de tres años (1942-1945), se construyeron 14 plantas de hule estireno-butadieno, con capacidad para 700,000 toneladas. En 1945, Estados Unidos producía 820,000 toneladas de hule sintético, lo que representaba más de la mitad de su producción petroquímica.

Otros procesos y productos petroquímicos que tuvieron gran desarrollo durante la Segunda Guerra Mundial en Estados Unidos fueron la producción de amoniaco a partir de gas natural y la de negro de humo. Se desarrolló también la extracción de aromáticos, en particular la producción de tolueno y sus derivados explosivos.

Entre los años 1950's y 1970's, la producción petroquímica mundial pasó de 3.7 a 60.5 millones de toneladas, es decir creció al 15% anual durante 20 años. En esos años la producción petroquímica se concentraba en EUA y en Europa Occidental.

Durante los años 1960's y 1970's se inició el desarrollo de la petroquímica en la Unión Soviética y en los países de Europa Oriental, así como en algunos países en vías de desarrollo, especialmente aquellos que contaban ya con una industria petrolera y con alguna experiencia en refinación del petróleo, como fue el caso de México. En algunos de esos países las primeras plantas petroquímicas se instalaron desde antes de 1960, sin embargo la etapa de crecimiento acelerado o la introducción de la petroquímica ocurrió hasta después de 1970.

La rápida expansión de la demanda petroquímica en las economías avanzadas de los años 1950 resultó en tasas de crecimiento de esta industria dos veces superior a las correspondientes del PIB, y durante la década de 1960 la industria petroquímica atrajo cerca de una quinta parte del total de la inversión de la industria manufacturera a nivel mundial. Europa Occidental y Estados Unidos a inicios de la década de 1970 cada uno tenía cerca de una tercera parte de la producción internacional total<sup>11</sup>.

La industria japonesa fue mucho más pequeña que las de las dos regiones más avanzadas y aunque está dependía de insumos externos (como la industria petroquímica de Europa Occidental) sus productores no habían penetrado más allá de mercados locales. A principios de la década de 1970 la industria japonesa fue dominada por empresas relativamente pequeñas.<sup>12</sup>

La industria norteamericana fue más autosuficiente que la de Europa Occidental; su producción estuvo fuertemente orientada a su mercado interno y usó sus grandes yacimientos de gas natural para abastecer de insumos a su industria de tal forma que el comercio internacional de insumos y productos jugó un papel menor.

Los productores en la Europa debido al muy fragmentado mercado europeo pusieron mayor énfasis en maximizar el crecimiento y en la búsqueda de mercados de exportación en función de escapar de las restricciones nacionales sobre escala y operación. Debido a la falta de seguridad en insumos domésticos la industria se basó en petróleo del Medio

---

<sup>11</sup> Auty, R. M. *The product life-cycle and the location of the global petrochemical industry after the second oil shock*. *Economic Geography*, vol. 60, No. 4 (octubre 1984), pp 325-338.

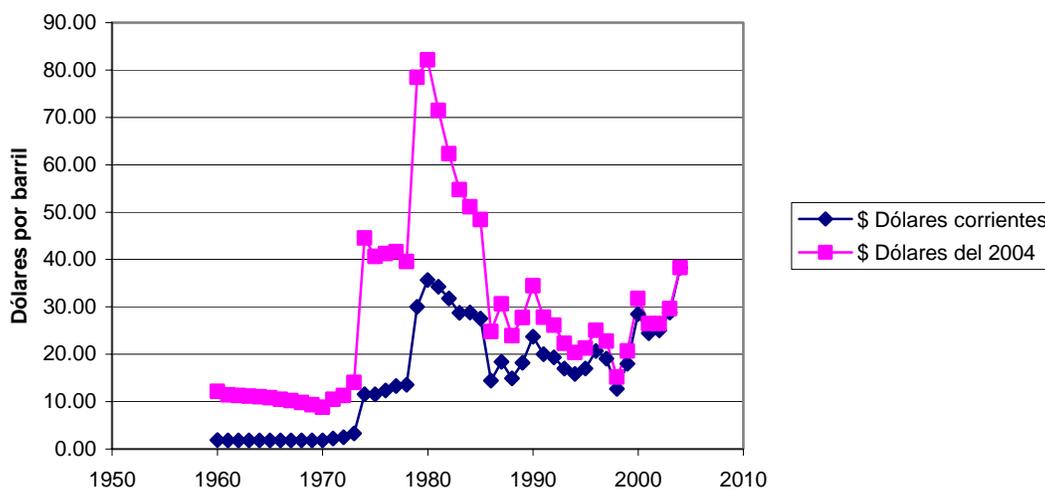
<sup>12</sup> Isawa, H. *Structural change of the international petrochemical industry and Japanese petrochemical industry*. *Chemical Economy and Engineering Review*, 13, No. 9 (1981), pp. 7 – 15.

Oriente. De esta forma se alentó la integración vertical lo cual provocó una muy rápida expansión. Esta tendencia hacia un exceso de capacidad fue exacerbada por políticas nacionalistas, principalmente en Italia y Francia. Consecuentemente aunque la producción petroquímica de Europa igualaba a la de Estados Unidos a principios de la década de 1970, las empresas petroquímicas europeas no disfrutaban de todos los beneficios de la escala.

Cerca del primer choque del precio del petróleo el crecimiento en la demanda de petroquímicos básicos había comenzado a descender tanto en Estados Unidos como en Europa Occidental, los productos intermedios también compartieron una fracción en la declinación de las ventas químicas en las economías avanzadas (tres quintas partes en los 1970's), sin embargo productos de demanda final con alto valor agregado tales como llantas y farmacéuticos crecieron rápidamente.

Aquellos países en desarrollo con mercados domésticos grandes, notablemente México y Brasil, comenzaron su producción de escala en los 1970's lo cual desplazó las importaciones de países industrializados.

Figura 3. Precio promedio-anual del petróleo



Fuente: elaboración propia con datos de British Petroleum (BP).

En la década de 1970-1980, especialmente entre 1974 y 1979, hubo incrementos importantes en los precios del petróleo a nivel mundial. Esto repercutió en la petroquímica, especialmente en la de países importadores de petróleo, ya que los precios de los hidrocarburos usados como materia prima y como energéticos aumentaron mucho.

Ya en los años de la década de 1980, los precios del petróleo y de los hidrocarburos, base de la petroquímica, se estabilizaron pero a niveles muy superiores a los prevalecientes antes de la crisis de finales de 1973.

El incremento del precio de las materias primas petroquímicas tuvo dos efectos diferentes. En los países importadores de petróleo se mejoraron los procesos y se logró un ahorro considerable de petróleo como materia prima en la petroquímica y un ahorro no menos importante como energético, tanto para las industrias químicas, como para otras industrias y

actividades económicas en general. Es decir, en todos los usos de petróleo, en esos países, hubo ahorros, en transportes, calefacción, enfriamiento, generación eléctrica, etc.

El efecto de los mayores precios del petróleo en los países subdesarrollados fue completamente diferente. No se pensó en ahorrar energía, se pensó en iniciar la industria petroquímica en forma masiva. En aquellos países que contaban con petróleo, se trató de aprovechar la ventaja competitiva de tenerlo para operar plantas petroquímicas a un costo menor, incentivados por las economías de escala.

Después de tres décadas de la crisis de 1974, se ha visto la ventaja que tienen los países desarrollados que desde hace mucho investigan y ponen en práctica tecnologías para ahorrar energía, en relación con la situación en que se encuentran muchos de los países petroleros subdesarrollados, los cuales se endeudaron para instalar grandes plantas petroquímicas y que recientemente se han dado cuenta que la ventaja competitiva que les da tener materia prima a bajos costo no compensa la falta de tecnología (la tecnología se volvió obsoleta) y que su participación en el mercado se ha visto reducida al existir mejores y plantas petroquímicas más grandes en todo el mundo.

En síntesis, el aumento del precio de los hidrocarburos, combinado con la aparición de una fuerte corriente de demanda especulativa de corto plazo, resultaron en alzas sustanciales de los precios petroquímicos en 1974-1976 y 1980-1983, mientras que la recesión económica y el exceso de capacidad provocaron caídas en los precios en 1978-1979 y 1985-1986.

Luego, se asistió a un ciclo de precios muy altos entre 1987 y 1989, fruto de la racionalización encarada por el sector y de un importante crecimiento de la demanda, del cual resultó la aparición de nuevas inversiones que determinaron una sobreexpansión de la industria y dieron lugar, junto con la recesión predominante en los principales países desarrollados, a la fase de precios bajos que finalizó en 1994. Debe considerarse que entre 1990 y 1993 el mercado internacional petroquímico atravesó una severa crisis de sobrecapacidad y caída de precios; la recuperación de 1994 fue vigorosa.

En estas circunstancias, la necesidad de mantener un nivel alto en la utilización de la capacidad lleva a las empresas a practicar una política de exportaciones agresiva, donde el dumping se ha hecho habitual.

#### **AGLOMERACIONES PETROQUÍMICAS**

El concepto de líder o de industrias propulsoras (propulsive industries) se le ha dado a la industria petroquímica, donde se ha notado que este tipo de industria en la fase temprana de su ciclo de vida puede servir como motor del crecimiento regional y nacional<sup>13</sup>. Esta idea, la cual pertenece al trabajo implícito de muchos economistas como Rostov, Schumpeter and Freeman, fue desarrollada por Perroux (1950)<sup>14</sup> quién adoptó el término *pôles de croissance* (i.e. crecimiento de polos) para describir los puntos importantes del crecimiento en un sistema económico. Lo anterior es conceptualizado no como zonas geográficas pero si como nodos funcionales los cuales consisten en aglomeraciones de industrias donde existen fuerzas económicas que están organizadas. Estas fuerzas son centrífugas y

---

<sup>13</sup> Chapman, Keith. *The international petrochemical industry: evolution and location*. Blackwell, 1991. pp 260.

<sup>14</sup> Perroux, F. *Economic space: theory and applications*. Quarterly Journal of Economics, 64, pp 89-104, 1950.

centrípetas al mismo tiempo y están transmitiendo a través del sistema económico por transacciones entre plantas, empresas y sectores. Las industrias propulsoras juegan un importante papel en el proceso. Ellas están caracterizadas no sólo en el crecimiento rápido de índices como la producción, el empleo y la inversión, sino en algo más importante, en la habilidad de transmitir este crecimiento a otros sectores. La operación de mecanismos multiplicadores normales asegura un tipo *ola* de cualquier sector de crecimiento rápido, pero este efecto parece mejorar en el caso de las industrias propulsoras como resultado de sus extensivas conexiones a través del sistema económico. Estas conexiones son mantenidas por flujos de información y encadenamientos físicos.

Las aglomeraciones (clusters) son concentraciones geográficas de compañías interconectadas, proveedores especializados, suministradores de servicios, e instituciones asociadas en un campo en particular representativo en alguna región. Los clusters o aglomeraciones surgen debido a que a través de ellos se incrementa la productividad con las cuales las empresas pueden ser competitivas. El desarrollo y crecimiento de clusters es una importante agenda de los gobiernos, compañías, y otras instituciones. Las iniciativas de desarrollo de clusters son una importante nueva dirección en política económica, pues implican esfuerzos tempranos en materia de estabilización macroeconómica, privatización, apertura del mercado, y reducción de costos.

Krugman señala el papel de la interacción de factores que propician la localización de las aglomeraciones. El formaliza su teoría en modelos que explican el crecimiento de aglomeraciones a través de la existencia de economías de escala, costos de transporte y factores de producción. Basados en estos modelos se han desarrollado otros más sofisticados, por ejemplo, Fujita, Krugman, y Venables, 1999.

Porter (1998) señala algunos efectos positivos de las aglomeraciones, tales como el compartir infraestructura, tecnologías de la comunicación, disponibilidad de insumos, acceso a mercados de producción. Porter también menciona el papel de los costos de transporte en la existencia de las aglomeraciones, sin embargo, estos costos de transporte difieren de los que menciona Krugman: Porter asume que las empresas escogen la misma localización en orden de minimizar los costos de transporte de los insumos necesarios para que estas empresas puedan producir su propio producto, mientras que Krugman asume que las empresas se aglomeran en orden de decrecer los costos de transporte de la distribución de productos que van a los consumidores<sup>15</sup>.

Los diferentes costos de transporte en los análisis de Porter y Krugman puntualizan la diferencia entre factores de oferta y de demanda que causan los clusters. Aunque existen excepciones, muchos factores que Krugman usa para explicar los clusters están asociados con la demanda de productos de la empresa, mientras que los factores que Porter enfatiza se encuentran del lado de la oferta, aunque ellos se refieren al proceso de producción de la empresa. Por lo tanto no es necesario escoger entre las teorías de Porter o Krugman porque ambos efectos pueden ocurrir simultáneamente.

Baptista y Swann (1998) explícitamente distinguen entre factores del lado de la demanda y factores del lado de la oferta. Ellos resumen que factores mejoran o generan los clusters y que son mencionados en análisis teóricos. Del lado de la demanda ellos distinguen cuatro

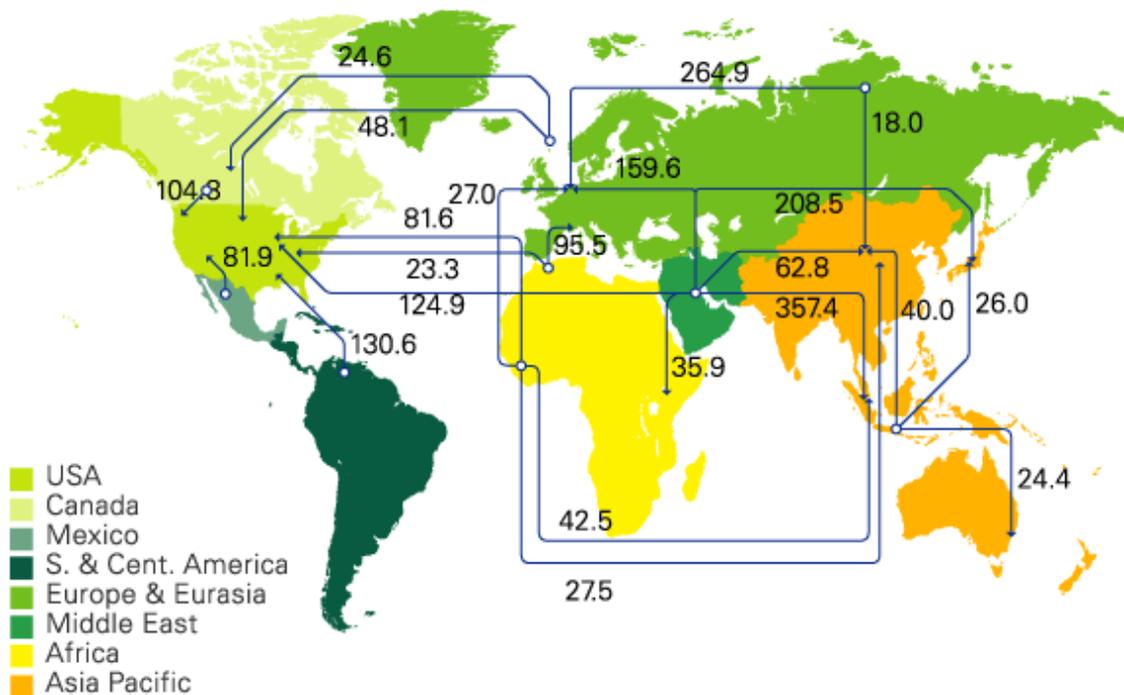
---

<sup>15</sup> Hoen, Alex. *Clusters: determinants and effects*. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, 13 de agosto de 2001, pp 4.

factores. Primero, los clusters podrían crecer en lugares con una demanda muy grande. Segundo, las empresas podrían ganar proporción de mercado al moverse cerca de un competidor. Tercero, la existencia de clusters decrece los costos de búsqueda para los consumidores. Cuarto, las empresas que están localizadas cerca de los mercados de consumidores pueden fácilmente explotar los flujos de información de clientes importantes, por ejemplo para proporcionar servicios adicionales al cliente. En el lado de la oferta, Baptista y Swann mencionan a los tres factores que inicialmente fueron introducidos por Marshall: trabajo en equipo, viabilidad de insumos (específicos), y conocimiento de derramas. El efecto de autoreforzamiento de los clusters es limitado por congestionamientos y efectos de competencia.

Es necesario hacer notar que el fenómeno de la globalización y los avances en las tecnologías de la información, comunicación y transporte han generando una serie de cambios en la organización de la producción. De ahí, que no sea necesario una proximidad física o geográfica para que exista cooperación entre empresas o se dé aprendizaje y/o innovación colectivos. A estas relaciones entre empresas se les denomina consorcios (*networks*) industriales. La idea es que las ventajas que no se obtienen por la cercanía de las empresas se suplan por una expresa relación de cooperación entre ellas, y esto ha sido muy utilizado en la industria petroquímica.

Figura 4. Flujos más importantes del comercio de crudo (millones de toneladas)



Los clusters exitosos se deben a su alto nivel de competitividad internacional. En el caso de países en desarrollo, el acceso a mercados internacionales significa un medio para vencer la limitación de mercados domésticos. Para considerar el impacto de los mercados externos (internacionales) en el desarrollo de los clusters es conveniente utilizar el concepto de *cadena global de producción*. Este concepto enfatiza el hecho de que los consorcios (*networks*) de producción traspasan las fronteras nacionales y que están emergiendo nuevas y más complejas formas de división del trabajo.

El énfasis en estas cadenas globales de producción permite ubicar al cluster en un contexto más amplio e identificar las oportunidades que se presentan para mejorar las actividades del cluster. Sin embargo, no todas las cadenas globales de producción son iguales en la industria petroquímica. Se pueden distinguir dos tipos: aquellas regidas por productores y las regidas por compradores. En las primeras, las grandes empresas transnacionales juegan papeles centrales en la coordinación de los consorcios (*networks*) de producción. Estas cadenas son características de empresas intensivas en capital y tecnología. En las segundas, las grandes cadenas de comercialización o *traders* tienen una misión central en organizar consorcios (*networks*) de producción descentralizados.

Se pueden definir las siguientes características para el mejor entendimiento de las aglomeraciones en general<sup>16</sup>:

- La competitividad de los actuales clusters es dominada básicamente por factores y condiciones iniciales, seguido por las condiciones de demanda.
- Los clusters más a menudo dependen de sus factores y condiciones iniciales, pero aquellos que dependen primariamente de la estrategia y rivalidad son más competitivos.
- La edad en que nacieron los clusters no representa una diferencia en la competitividad de los mismos, aunque los establecidos antes de 1900 no sólo dependen de los factores y condiciones iniciales, también juega un papel muy importante el contexto de la estrategia y rivalidad.
- Las más importantes razones para los establecimientos de clusters se han debido a los factores y condiciones iniciales, y también por las oportunidades y políticas gubernamentales.

En la figura 4 se observa que los países importadores de crudo más importantes son Singapur y China en la región Asia-Pacífico, Estados Unidos en Norteamérica, Alemania y Holanda en Europa, y la región que más exporta crudo es Medio Oriente.

En la figura 5 se observa que los países importadores de gas más importantes son Japón y Corea en la región Asia-Pacífico, Estados Unidos en Norteamérica, Alemania y Holanda en Europa, y las regiones que más exportan gas son Medio Oriente y la región Siberiana en Rusia.

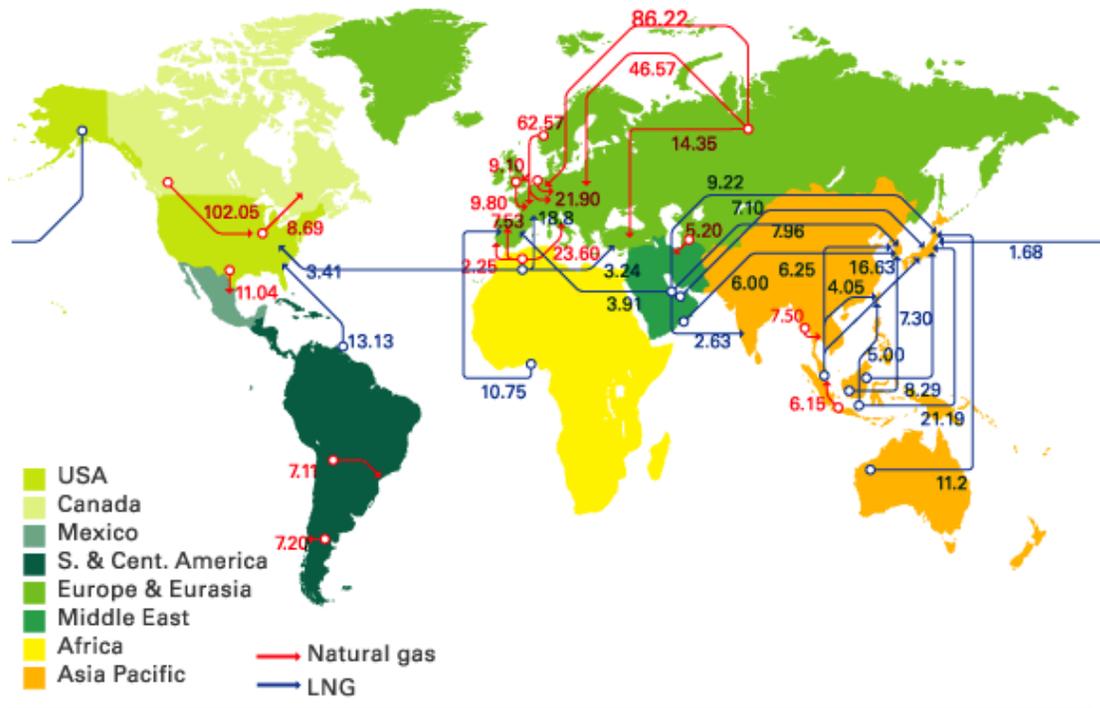
De esta manera la figura 4 y 5 dan una idea de donde se centran las aglomeraciones más importantes de la industria dedicada a la refinación de gas y crudo y petroquímica. Es de señalar que la industria petroquímica se centra alrededor de plantas refinadoras para que sea abastecida de materias primas de manera continua y abundante. Por esta razón, la

---

<sup>16</sup> Porter, Michael. Study of *Regional Clusters and Competitiveness*. Harvard Business School (HBS), noviembre de 2002.

producción de petroquímicos estará en los países y zonas ya señalados. En general, las aglomeraciones petroquímicas estarán en regiones donde existan grandes productores de crudo o gas o en zonas donde exista una gran demanda de productos petroquímicos (para disminuir costos de transporte).

Figura 5. Flujos más importantes del comercio de gas (miles de millones de metros cúbicos)



Fuente: British Petroleum, Statistical Review of World Energy 2005.

A continuación se hace un breve análisis de la aglomeración petroquímica más cercana y que por ende tiene mayor impacto en México. Los datos se obtuvieron del programa *Cluster Meta Study*<sup>17</sup> que coordina Michael Porter en la Escuela de Negocios de Harvard.

**Houston, Texas, EUA.** Es el cluster más grande del mundo, éste se encuentra concentrado en una sola ciudad, Houston, Texas. Es un cluster petrolero dedicado a ampliar las cadenas productivas de manera vertical y horizontal. Esencialmente se dedica a la exploración y producción de crudo y gas. También se dedica a la transportación de crudo, a su comercio, refinación, distribución, venta al por mayor y de detalle y a producción y venta de petroquímicos. A su vez se dedica al almacenamiento, procesamiento, comercio, transmisión, distribución y venta de gas natural.

Estaba agrupado por más de 5,000 empresas a finales de los años 1990's. Las etapas verticales genéricas a las que se dedica son la producción de productos primarios, servicios primarios, maquinaria, inversiones y servicios de soporte técnico.

La posición de Houston como la sede mundial para la innovación en materia de crudo y gas se ha fortalecido en las recientes décadas, aunque los recursos petroleros han disminuido.

<sup>17</sup> www.isc.hbs.edu

Tiene el 12.2 % de la capacidad de refinación del país. Participa en un 20 % en los negocios relacionados con el petróleo a nivel nacional. Una de las ventajas naturales de este cluster en su cercanía con las fuentes petrolíferas, es decir, Texas y el Golfo de México poseen el 50 % de las reservas de los Estados Unidos y más del 50 % de la producción de gas natural de ese país.

El puerto de Houston es un complejo público y privado fuertemente equipado y orientado hacia el sector petrolífero.

La disminución de recursos petrolíferos en el Golfo de México permite forzar hacia el incremento de la innovación y desarrollo de tecnología. Houston es el líder mundial en suministro de equipo (torres de perforación, herramientas de perforación) además de tener las mejores fuentes de innovación.

Este cluster nació en 1901 con el descubrimiento de petróleo en Spindletop; de 1920 a 1940 se establecieron refinerías; de 1940 a 1950 se establecieron las firmas petroquímicas; después de 1940 se establecieron las firmas de la industria del gas; en los 1990's se dio la oportunidad de convergencia de las industrias de crudo, gas y electricidad.

La mejor posición del cluster fue alcanzada sólo hasta finales de los 1980's; después de 1986 cayeron los precios del petróleo forzando al incremento de la competitividad de los clusters petroquímicos vía reducción de costos, lo cual dio como resultado una transferencia de trabajos y habilidades hacia Houston así como el incremento de su fortaleza.

Otros clusters muy importantes de la industria petroquímica son:

1. Québec, Canadá.
2. Alberta, Canadá.
3. North Rhine - Westphalia y Hesse, Alemania.
4. Esbjerg, Dinamarca.
5. Róterdam, Holanda.
6. Amberes, Bélgica.
7. Grangemouth y Mossmorran, Escocia, Reino Unido.
8. La región noroeste del Reino Unido.
9. La región nordeste del Reino Unido.
10. Aberdeen, Escocia, Reino Unido.
11. Haifa, Israel.
12. Jurong Island, Singapur.
13. El Golfo de Tailandia, Tailandia.

Las aglomeraciones locales y/o regionales en el sector petrolero y petroquímico son una realidad, es decir, son zonas geográficas que por diversos factores se han visto favorecidas y en las cuales se han establecido y concentrado una gran cantidad de empresas que

pretenden abaratar costos de producción, incrementar la productividad, incrementar las ventajas competitivas, etc.

Estas aglomeraciones al mismo tiempo son barreras a la entrada de posibles competidores. El desarrollo de un polo petroquímico en otra parte del mundo competirá con los bajos costos de producción de las aglomeraciones ya existentes, aunque es importante notar que puede suceder que los factores determinantes para el desarrollo de un polo petroquímico sean los costos de transporte o inclusive la parte del ciclo económico de la industria petroquímica.

Las grandes transnacionales petroquímicas, desde hace varias décadas, se establecieron en países asiáticos, como Hong Kong, Corea del Sur, Taiwán, Singapur, India y Malasia, en dónde debido a que las políticas locales permitían unos costos de producción muy bajos, estas empresas pudieron establecer una red de complejos petroquímicos (en algunos casos han llegado a ser clusters petroquímicos) para suministrar productos petroquímicos a Asia y al resto del mundo. Hoy en día estos países mantienen sus políticas de apertura a la inversión extranjera, permitiendo el desarrollo de nuevos polos petroquímicos en la región, lo cual provoca que estos países jueguen un balance y una fuerte competencia para el establecimiento de alguna planta petroquímica casi en cualquier parte del mundo. Las economías de escala que han implementado las grandes transnacionales en dichos países, aunado a los bajos costos en mano de obra, les otorga un papel importante en la manufactura de petroquímicos a nivel mundial.

### **ESTRATEGIAS EN LA IPQ**

Después de más 50 años de cambios graduales en la industria petroquímica las reglas del juego han sido rápidamente rescritas<sup>18</sup>. La paridad entre competidores ha creado estrategias basadas en la minimización de costos para incrementar las utilidades, sin embargo, esto no ha sido muy eficaz en la práctica.

Observando el ciclo de la industria petroquímica a través del *retorno sobre la inversión* de algunas empresas<sup>19</sup> que fabrican productos petroquímicos básicos y commodities se ve un ciclo con muchas etapas recesivas, no obstante, esta gráfica también puede implicar una serie de movimientos estratégicos implementados por las empresas competidoras. Por la anterior se supone que las estrategias implementadas en el mercado internacional han sido muchas y variadas. Algunas de las características más importantes de las estrategias en el ciclo de negocios de la industria petroquímica se comentaran a continuación.

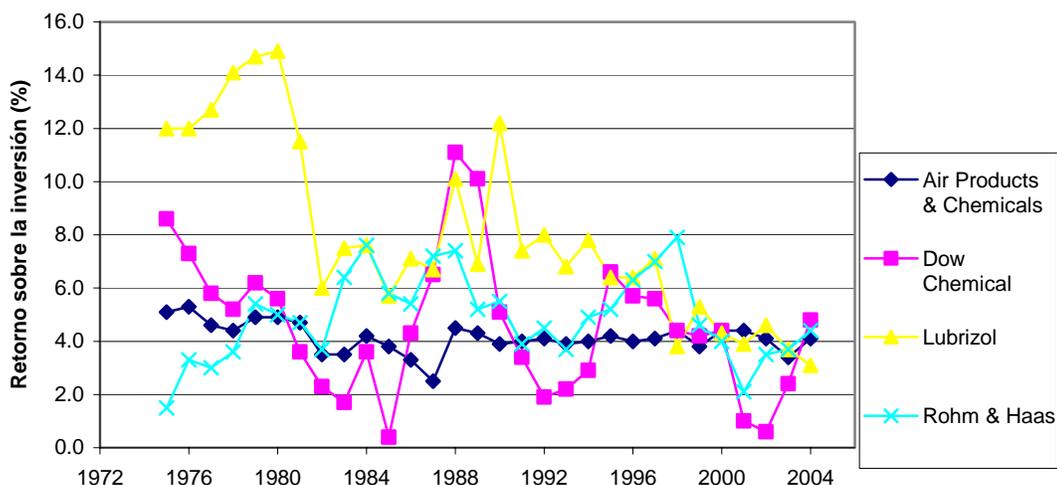
Hasta hace poco, las compañías petroquímicas habían generado estrategias enfocadas a la optimización de porciones particulares de la cadena productiva. Sin embargo, se ha considerado que la cadena productiva se puede pensar en términos de 4 principales segmentos de negocios: *alimentaciones; productos; procesos de producción; y servicio/distribución* (modelo que originalmente fue propuesto por Michael Porter, HBS).

---

<sup>18</sup> Glauthier, Tad; Kalkstein, Harold; Williamson, Robert. *Petrochemical report: petrochemical producers gain advantage with novel business strategies*. Oil & Gas Journal, 19 de Mayo de 1997, pp 54-58.

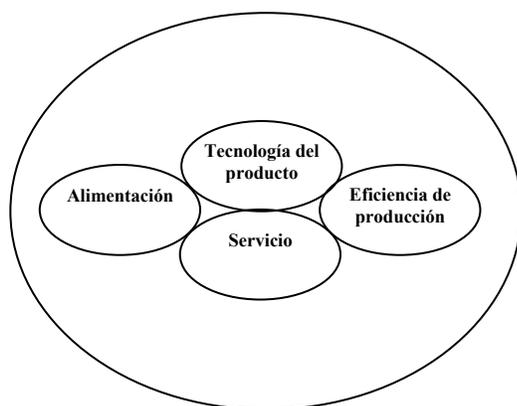
<sup>19</sup> El retorno sobre la inversión es igual a las ganancias como porcentaje de los activos actuales más el total de las plantas.

**Figura 6. Retorno sobre la inversión de empresas estadounidenses**



Fuente: elaboración propia con datos de C&EN, varios números.

**Figura 7. PROCESO CONTINUO DE OPTIMIZACIÓN**



- **Alimentación:** Explora y explota las alimentaciones más baratas para permitir la ventaja en costo.
- **Tecnología del producto:** Mejora las características del producto en segmentos emergentes y en aplicaciones.
- **Eficiencia de producción:** Desarrolla plantas de escala mundial a través de escala y tecnología de procesos.
- **Servicio:** Diferencia y confecciona productos de acuerdo a las necesidades de los clientes; segmentar y adaptar el servicio.

### Alimentaciones

Las estrategias en la parte de la alimentación (insumos) típicamente se han enfocado en obtener un costo de ventaja en la alimentación y/o en la energía localizando a las plantas cerca de las fuentes de alimentación o empleando acuerdos de largo alcance en compras de los insumos.

Por ejemplo, Union Carbide Corp., firmó un acuerdo en 1994 con Kuwait National Petroleum Co. para comprar etano a precio mucho más bajo que si lo comprase en el mercado abierto. Sin embargo, estos acuerdos son altamente riesgosos debido a que los mismos pueden dejar vulnerable a los productores petroquímicos y a los abastecedores de la materia prima ante la oportunidad de renegociación del acuerdo, ya que dependiendo de la situación del precio internacional existirán incentivos a respetar o no las condiciones estipuladas inicialmente por ambos agentes.

Como estrategia emergente se ha señalado que más que competir a través del precio de los insumos, algunos fabricantes prefieren diferenciar sus productos por otras vías. Por

ejemplo, algunos clientes están dispuestos a pagar un extra por la biodegradabilidad de los productos.

### ***Productos***

Típicamente la implementación de estrategias se ha enfocado al desarrollo de nuevos productos. Muchas compañías petroquímicas quieren llegar a obtener un producto innovador, algo como el siguiente PET, lo cual les provoca un pesado gasto en investigación y desarrollo (I&D) para tratar de no salir del mercado.

Sin embargo, con cada nuevo descubrimiento las empresas deben incrementar la inversión en I&D debido a que el nuevo desarrollo les genera mayores ventas y ganancias y porque los pequeños nichos de mercado que tiene la empresa pueden desaparecer de manera rápida.

Como el descubrimiento de tecnología nueva trae consigo un incremento de gastos y trae una disminución en el retorno del capital, las compañías están altamente presionadas para recuperar sus gastos de desarrollo. Algunas compañías han notado que son mejores fortaleciendo la tecnología de sus contrincantes o licenciando tecnologías para firmas independientes de investigación, esto sería una estrategia emergente.

Por ejemplo, algunos acuerdos petroquímicos europeos consideran la inversión en I&D vía cooperación entre empresas como vía para incrementar sus competitividades.

### ***Procesos de producción***

Las estrategias centradas en los procesos de producción se han enfocado en la reducción de costos y en el incremento de la eficiencia. Los productores de petroquímicos han intentado maximizar los beneficios de escala a través del continuo incremento del tamaño de las plantas a nivel mundial.

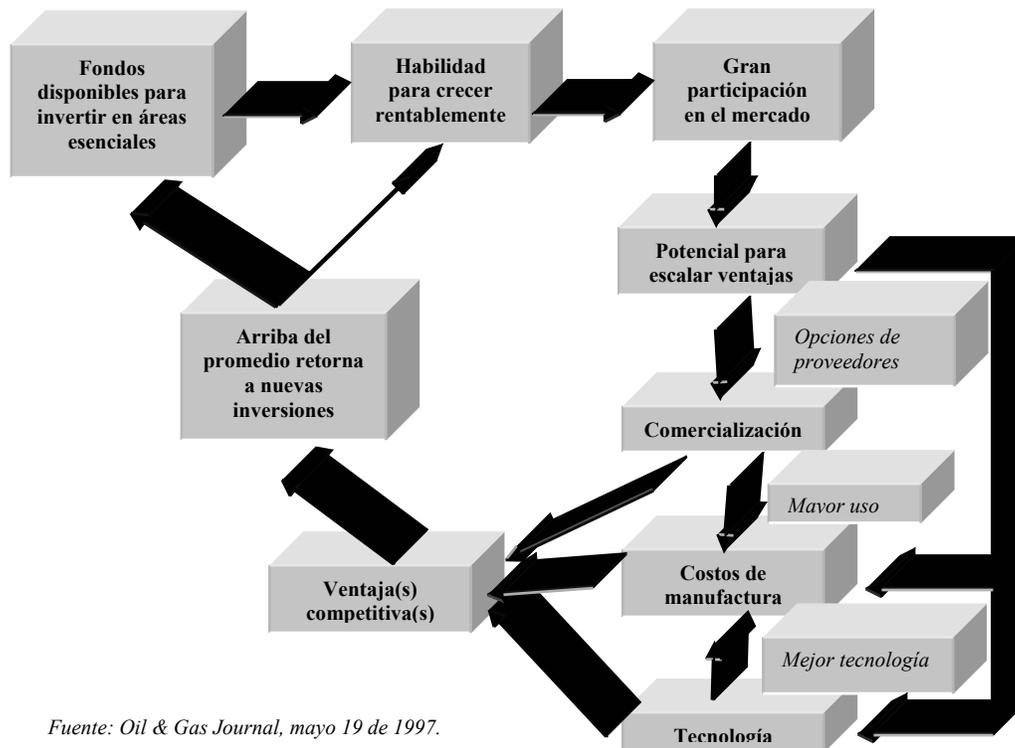
Los productores también han observado que la optimización de la producción requiere el uso de nuevas tecnologías de catalizadores. Sin embargo, los avances en la tecnología de los catalizadores no han sido baratos, inclusive existen algunas dudas con respecto a si la industria podrá recuperar los costos de desarrollo de algunos catalizadores.

Otro método de optimización de la producción ha sido enfocarse en el centro de los negocios, o en el producto más importante, una estrategia que se ha exaltado incrementando su popularidad entre las compañías norteamericanas en los 1990's. Las compañías han optado por vender los negocios no centrales de sus líneas de negocios, y entonces han ganado capital adicional para invertir en sus líneas de negocios más importantes.

La agresiva consolidación del joint-venture entre Amoco Chemical Co. y Montell Polyolefins, el primero era el principal abastecedor mundial de ácido tereftálico (PTA) y el segundo tenía un amplio dominio en el mercado del polipropileno, es un ejemplo de estas estrategias.

Se ha podido observar que las compañías que se enfocan en algunos productos centrales o principales tienen altos grados de rentabilidad que aquellas que compiten a través de múltiples productos, o diversas líneas de productos.

Figura 8. Ciclo virtual de la industria petroquímica



Fuente: Oil & Gas Journal, mayo 19 de 1997.

La mejora de la rentabilidad proporciona mayor capital para invertir en I&D, generalmente, proporcionando a las compañías grandes y superiores escalas y tecnologías de producción. Esto crea un ciclo virtual (figura 8) en el cual la rentabilidad, I&D, y la proporción del mercado crecen de una mejor forma en comparación a otras empresas. Esta estrategia, sin embargo, es experimentada disminuyendo los retornos que los competidores adoptan como ganancias.

Algunas compañías petroquímicas han desarrollado la estrategia de desincrustar sus activos como estrategia emergente; los manufactureros de gas natural tienen un excelente ejemplo. Mientras las estrategias tradicionales han señalado hacia la eficiencia del costo de la escala mundial de la planta, L'Air Liquide se ha beneficiado de los límites de la producción in-situ lo cual ha provocado que hayan decrecido sus inversiones iniciales en la producción de gas de diez a uno con respecto a hace 60 años.

Cuando la desincrustación no es posible, como ha sido el caso de la mayoría de las petroquímicas, algunos competidores han, creativamente turnado al concepto de *condominio*. Este envuelve varios jugadores de inversión conjunta en una escala proporcionándoles facilidades mundiales.

### **Servicio / distribución**

El cuarto punto de las estrategias que prevalecen en la industria petroquímica está basado en la distribución y el servicio a clientes. Por el lado de la distribución, los 1990's fueron caracterizados por el incremento de la globalización de los negocios petroquímicos. Los

productores se enfocaron en el crecimiento internacional y se esforzaron en los mercados emergentes, especialmente en la región de Asia – Pacífico y en Latinoamérica.

La temprana entrada en los mercados de nuevas regiones geográficas abiertas a la inversión permite cerrar mercados y establecer barreras de entrada. BASF, por ejemplo, alcanzó la posición número 3 en Europa Occidental en producción de poli-oxi-metileno por la construcción de sus canales de distribución e inversión vía joint ventures (para equilibrar el riesgo).

Por el lado de los clientes, los productores han intentado la creación de nichos enfocándose en las necesidades existentes de los clientes. De esta forma los segmentos se llegan a incrementar en forma pequeña, y el incremento en el retorno de inversión para desarrollo de nuevos productos decrece.

Algunas compañías usan sus propias tecnologías y “know-how” para el desarrollo de actividades comerciales que faciliten la entrada a nuevos mercados, al mismo tiempo usan los nuevos mercados como fuentes de aprendizaje. Es decir, algunas empresas petroquímicas basan su despegue internacional en sus capacidades centrales, lo cual les permite el arribo a nuevos mercados.

### ***Otras estrategias***

Se ha incrementado la dificultad de crear beneficios, por lo que algunas compañías se han centrado en recolectar capital. Esto se refiere a la práctica de parar viejas plantas mientras minimizan los gastos de mantenimiento. Las viejas plantas pueden ser no altamente eficientes, pero con una depreciación total adquieren valor debido a que se pueden obtener altos retornos de capital.

La rigurosa ejecución de las estrategias tradicionales mencionadas no necesariamente llevará a la delantera a las empresas petroquímicas que las implementen. Desafortunadamente, los productores petroquímicos se mueven hacia la paridad de costos con sus competidores. De esta forma existen dos razones para que las empresas se traten de diferenciar de sus competidores. La primera es que las ventajas competitivas obtenidas a través del uso de estrategias tradicionales pueden ser de muy corta duración. La disminución de retorno de capital de las innovaciones tecnológicas y las amenazas de las oportunidades de renegociación inherentes al abastecimiento de las materias primas en el largo plazo son justamente dos ejemplos de esto. Segundo, no todas las compañías pueden hacer uso de las estrategias tradicionales. Mientras Amoco, por ejemplo, era capaz de obtener substanciales beneficios por la escala y participación en el mercado en PTA (ácido tereftálico purificado), muchas compañías no tenían los recursos para alcanzar la favorable situación de mercado.

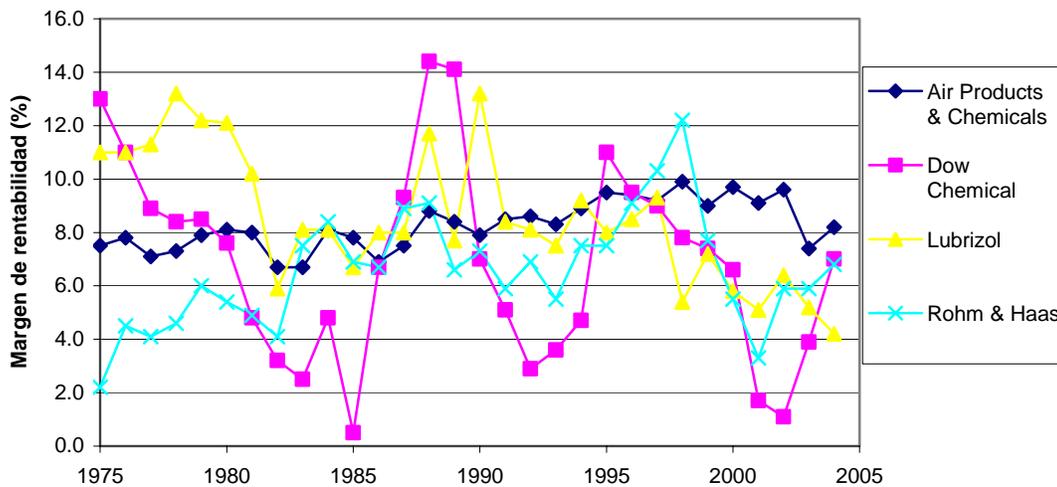
No todas estas estrategias son directamente aplicables a las compañías petroquímicas, pero ellas sirven como un borrador de ejemplos de posibles estrategias.

Algunas compañías petroquímicas se han administrado de tal forma con el fin de evitar la competitividad de sus adversarios desarrollando estrategias que fundamentalmente han cambiado la forma en que el juego es desarrollado. Las concesiones; podrán seguir siendo necesarias para buscar la eficiencia máxima, pero las estrategias emergentes permitirán que las compañías emergentes que adoptaron la forma de diferenciarse más que otras puedan permanecer por más tiempo en el mercado.

Los productores de gas industrial han combinado servicio y tecnología como palanca en un camino revolucionario para atraerles acercamientos con los clientes. Estos productores comenzaron aplicando tecnologías de producción existentes para conocer las necesidades del cliente en los 1980's, después movieron su producción a los sitios de sus clientes, y a través de esto desarrollaron un conocimiento detallado de sus clientes en los segmentos del proceso. Como consecuencia, los fundamentos de la competición cambian a partir de los productos y segmentos de los clientes. El nuevo conocimiento sobre el cliente ha permitido a los productores de gas enmarcar sus ofertas de productos para incluir servicios relacionados, como la instalación de tubería y su mantenimiento, y la generación de energía eléctrica en pequeña escala. La proximidad con los procesos del cliente y sus necesidades, se unen con los altos costos de desarrollo de los productos, lo que permite la creación de barreras a la entrada de nuevos competidores. El resultado neto es la mejora en la rentabilidad para todos los jugadores, los bajos precios de productos – servicios, y el incremento del valor para los clientes. Los negocios de gas industrial se encuentran actualmente en crecimiento en gran parte del mundo.

Durante las depresiones del ciclo de la industria petroquímica toda la industria sufre bajas, algunas veces hasta márgenes negativos de efectivo (liquidez). Entonces los competidores alcanzan paridad de costos y la curva de oferta se vuelve llana, el efecto en la volatilidad de precios tiene gran repercusión en todo, aunque más en los costos de competitividad del productor. La mayoría de los administradores de empresas petroquímicas tiene grandes problemas para sobrevivir a esta parte del ciclo de la industria petroquímica y química. Sin embargo, los competidores han aprendido a explotar más que a sufrir del ciclo.

Figura 9. Rentabilidad<sup>20</sup> de algunas empresas petroquímicas de EUA



Fuente: elaboración propia con datos de C&EN, varios números.

En el punto más bajo del ciclo de negocios de la IPQ (figura 10), los jugadores como Huntsman Corp. Han comprado activos de los competidores a precios por debajo del costo de reemplazo, y entonces la rentabilidad de la recolecta de aquellos activos se paga en el

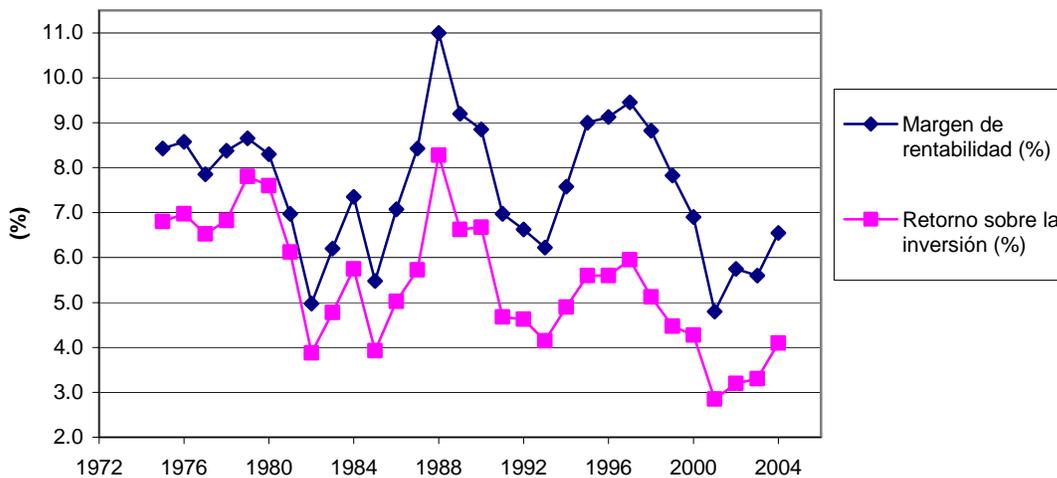
<sup>20</sup> El margen de rentabilidad es el ingreso como porcentaje de las ventas totales.

siguiente movimiento del ciclo. Por otro lado, cuando el ciclo petroquímico estuvo cercano al pico (un máximo) en 1996, Huntsman indicó que sus planes estaban enfocados a la construcción en lugar de la compra de activos (adquisiciones de empresas), declarando que la adquisición no le convenía debido a los altos precios, por lo que asumió el costo de nuevas plantas básicas.

Eastman también ha utilizado una estrategia relativamente nueva, ha institucionalizado el crecimiento en sus líneas de negocios no centrales. La inversión en negocios no químicos es ahora una práctica formal comercial de Eastman Chemical. En el 2002 lanzó su nueva unidad de negocios llamada “developing business unit”. Hasta ahora, el grupo ha lanzado tres nuevas divisiones: Cendian, unidad dedicada a la administración del transporte, externa a la firma; Ariel Research, dedicada al cuidado y seguridad del ambiente, salud, y administración del software de la firma; la otra unidad es la de “gasification service”, esta unidad es subproducto del proceso de gasificación de carbón que Eastman tiene internamente.

Los ejemplos de estrategias emergentes discutidos no son necesariamente excelentes ejemplos para el éxito competitivo, además, ellos sólo ilustran como algunas innovaciones estratégicas de las empresas químicas han ganado ventajas substanciales sobre sus competidores.

**Figura 10. Ciclo de negocios de la industria petroquímica: rentabilidad promedio de algunas empresas petroquímicas de EUA\_**



Fuente:

elaboración propia con datos de C&EN, varios números.

A continuación mostramos algunos de los puntos que se ha considerado son primordiales en el análisis de la planeación estratégica de cualquier empresa petroquímica como desafíos de la misma.

1. Ciclicidad de la rentabilidad.
2. Inestabilidad de los precios de las materias primas.
3. Fusiones y adquisiciones.
4. Regulaciones ambientales.

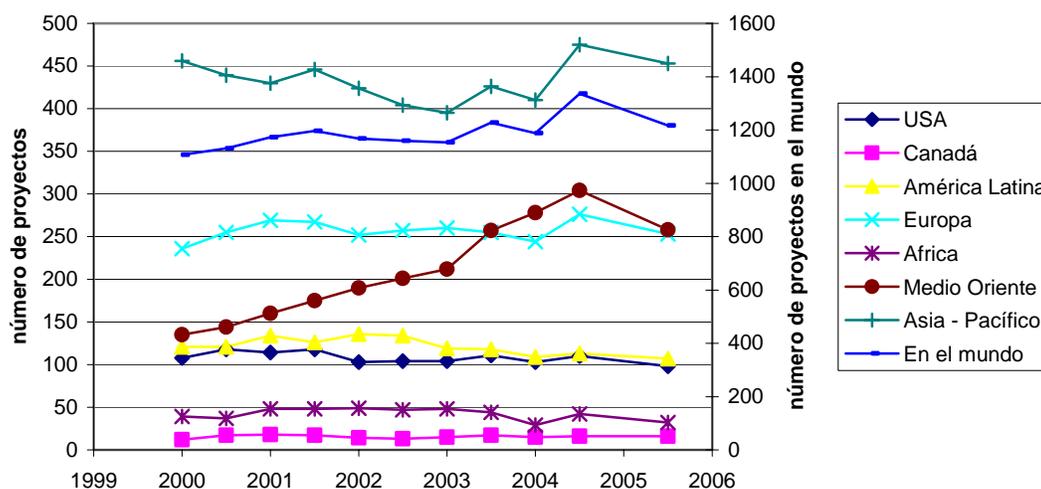
5. El papel de China a nivel mundial: impacto de la importación de petroquímicos causados por la incorporación de China a la Organización Mundial de Comercio.
6. Crecimiento de los negocios electrónicos (e-business).

### PROYECTOS PETROLÍFEROS

El observar donde se están desarrollando la mayor cantidad de proyectos petroquímicos en los últimos años se ha considerado de importancia para idear mejores estrategias en el establecimiento de plantas petroquímicas, como ya se vio es imperante el conocimiento de las características que envuelven a cada una de las regiones que a continuación se muestran. En las siguientes gráficas se observan a las zonas geográficas y a sus proyectos activos y nuevos en materia petroquímica, de refinación y de procesamiento de gas a partir del año 2000.

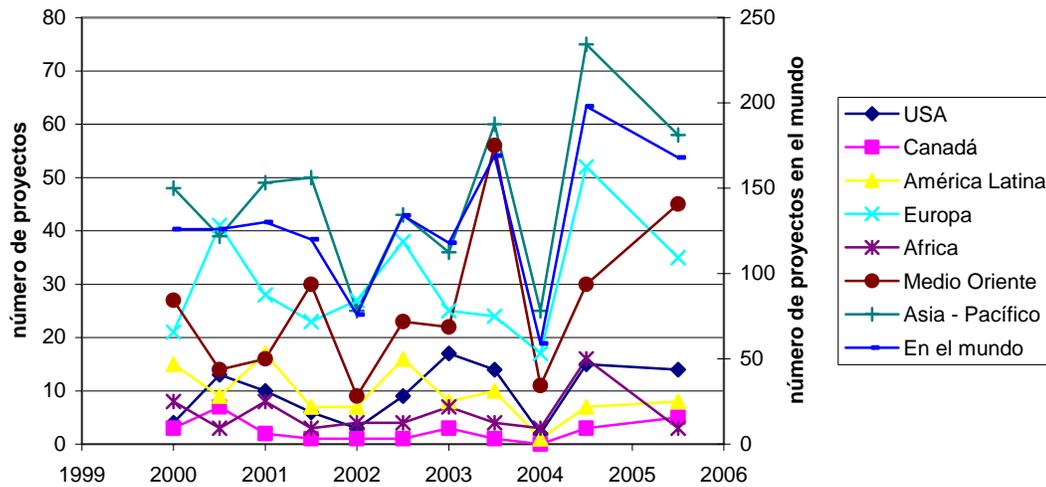
En la figura 11 se observa que la zona que tiene mayor cantidad de proyectos petroquímicos activos es la región de Asia-Pacífico, seguida de Medio Oriente y de Europa. América Latina está un tanto rezagada, mientras que Africa es la zona que menos proyectos activos tiene. Se observa que la región de Asia-Pacífico casi el doble de proyectos activos, y parece mantenerse esta tendencia como una constante histórica, cuando menos a partir del año 2000. También se observa que todas las regiones han mantenido un promedio en la cantidad de proyectos activos, mientras que la única zona que ha acrecentado la cantidad de proyectos en este rubro es la zona de Medio Oriente, ya que esta zona aumentó a casi el doble de proyectos en tan sólo 5 años. De esta forma la zona de Medio Oriente pasó de un tercer lugar a un segundo lugar en este rubro, desplazando a Europa.

Figura 11. Proyectos activos en materia petroquímica



Fuente: elaboración propia con datos de Hydrocarbon Processing, varios números.

Figura 12. Proyectos nuevos en materia petroquímica

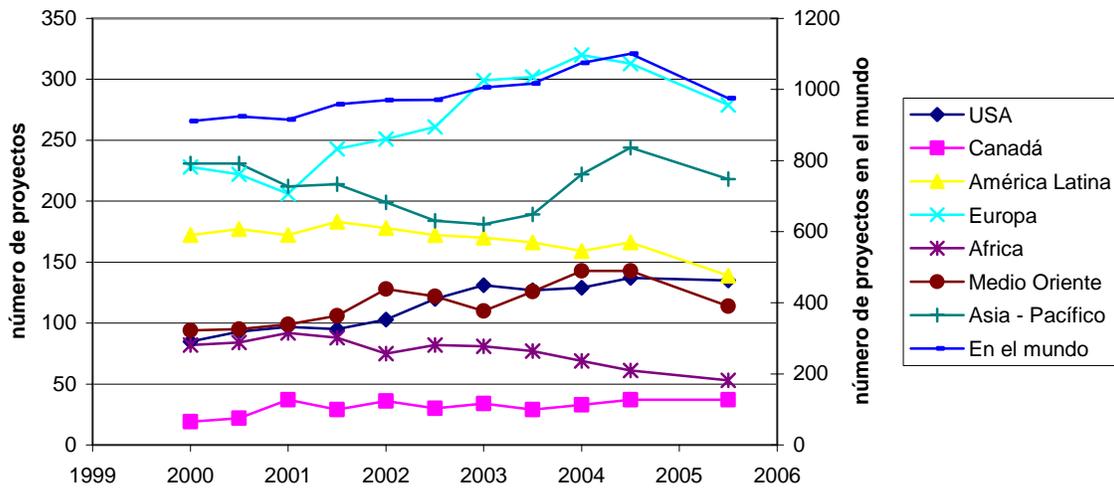


Fuente: elaboración propia con datos de Hydrocarbon Processing, varios números.

En la figura 12 se observa que las zonas que han tenido un mayor empuje en el desarrollo de nuevos proyectos petroquímicos son Asia-Pacífico y Medio Oriente, después de estas zonas sigue Europa y se mantiene de forma histórica como una región preocupada por la manufactura de petroquímicos. Tanto Estados Unidos, Canadá, América Latina y Africa mantienen constantes sus flujos en materia de nuevos proyectos petroquímicos.

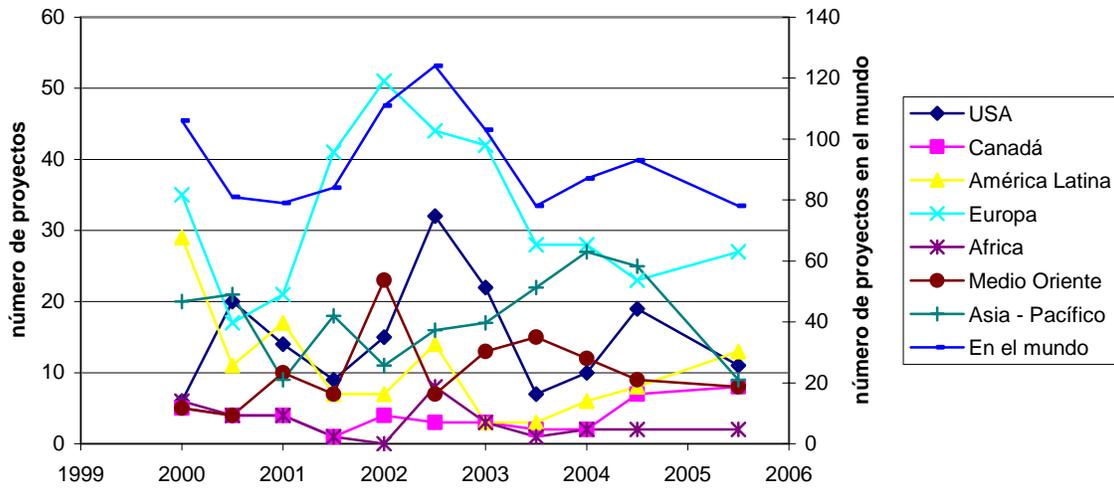
De esta forma se proyecta que los grandes jugadores en materia petroquímica durante los próximos diez años, que es el periodo de vida promedio de una planta petroquímica, serán las regiones de Asia-Pacífico y Medio Oriente. Las ventajas esenciales en asentar proyectos petroquímicos en esta zona son: 1.- la cercanía de las materias primas, es decir, el abastecimiento constante y abundante, 2.- las políticas implementadas por parte de los gobiernos locales para atraer inversión en este rubro, 3.- La cercanía hacia el mercado más grande del mundo, el chino y el hindú.

Figura 13. Proyectos activos en materia de refinación



Fuente: elaboración propia con datos de Hydrocarbon Processing, varios números.

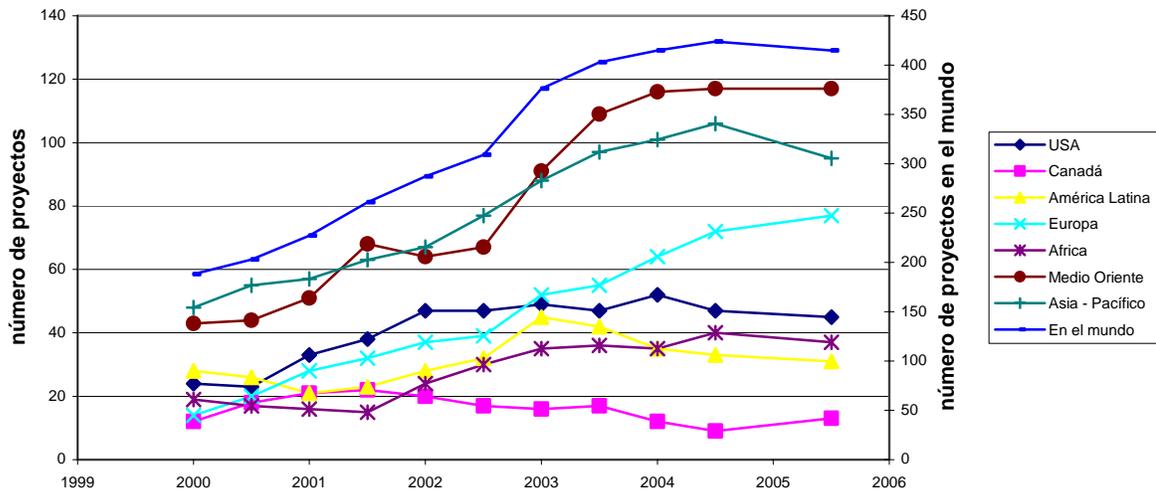
Figura 14. Proyectos nuevos en materia de refinación



Fuente: elaboración propia con datos de Hydrocarbon Processing, varios números.

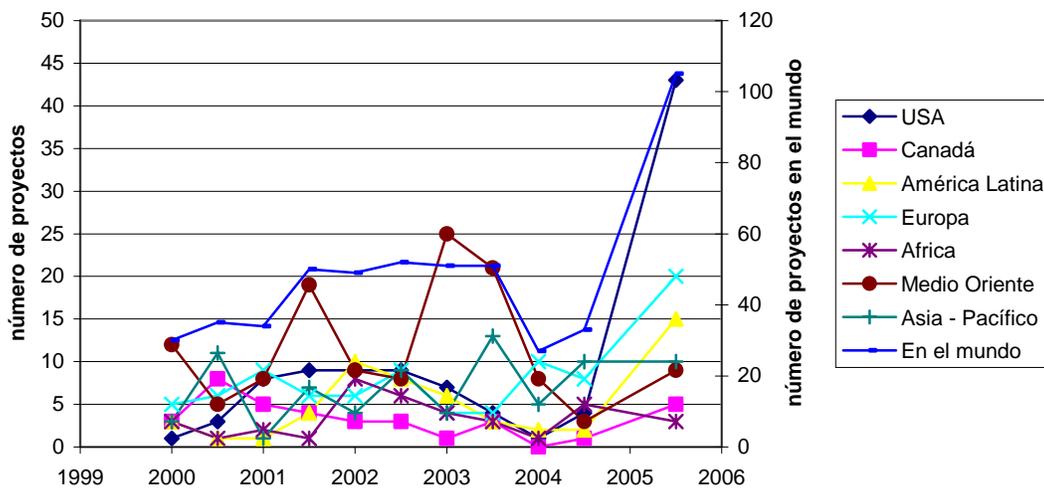
En las figuras 13, 14, 15 y 16 se observan los proyectos en materia de refinación y en materia de gas natural. Aunado a lo anterior si se observan los flujos de crudo y de gas natural (figuras 4 y 5 respectivamente) se concluye que existen zonas geográficas que dan mayor impulso a los proyectos en materia de hidrocarburos de acuerdo a sus ventajas competitivas, esencialmente la cercanía de grandes mercados de consumo y la facilidad de abastecerse de materias primas.

**Figura 15. Proyectos activos en materia de gas**



Fuente: elaboración propia con datos de Hydrocarbon Processing, varios números.

**Figura 16. Proyectos nuevos en materia de gas**



Fuente: elaboración propia con datos de Hydrocarbon Processing, varios números.

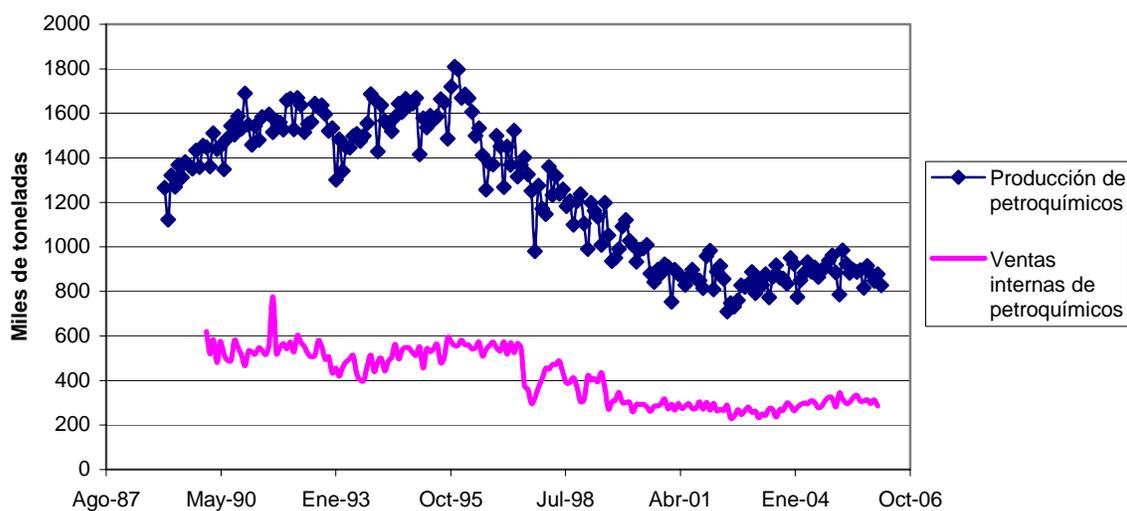
### III.- PRINCIPALES INDICADORES DE LA IPQ EN MÉXICO

La producción petroquímica agregada y las ventas internas de petroquímicos en México (figura 17) a partir de 1995 han mostrado una tendencia a la baja, esto es preocupante en dos vertientes:

- 1.- La IPQ es altamente competitiva y México necesita de este tipo de industria para elevar su competitividad internacional.
- 2.- México tiene ventaja comparativa al tener las materias primas de las principales cadenas petroquímicas.

Parece contraintuitivo que un país con grandes recursos naturales en materia de hidrocarburos no tenga una industria petroquímica creciente cuando en todo el mundo se observa lo contrario, es decir las grandes empresas estatales y transnacionales han crecido aguas abajo en la cadena productiva, y es por esta razón que en subsecuentes apartados se analizará la viabilidad de instalación de nuevas plantas petroquímicas.

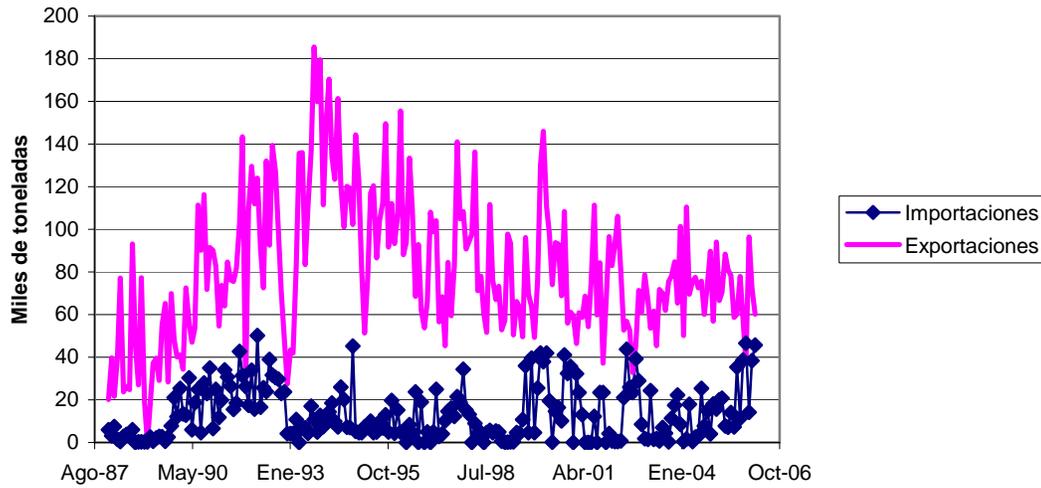
Figura 17. Producción y venta de petroquímicos a nivel agregado en México (datos mensuales)



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

Las exportaciones de petroquímicos (figura 18) durante los últimos años han fluctuado a la baja, no obstante, se observa una tendencia creciente hasta 1994 y a partir de febrero de 1995 han mostrado una tendencia decreciente. Las importaciones de petroquímicos se muestran decrecientes, además se puede observar que en conjunto la industria petroquímica mexicana ha visto reducido su superávit comercial a partir de 1994 (figura 19).

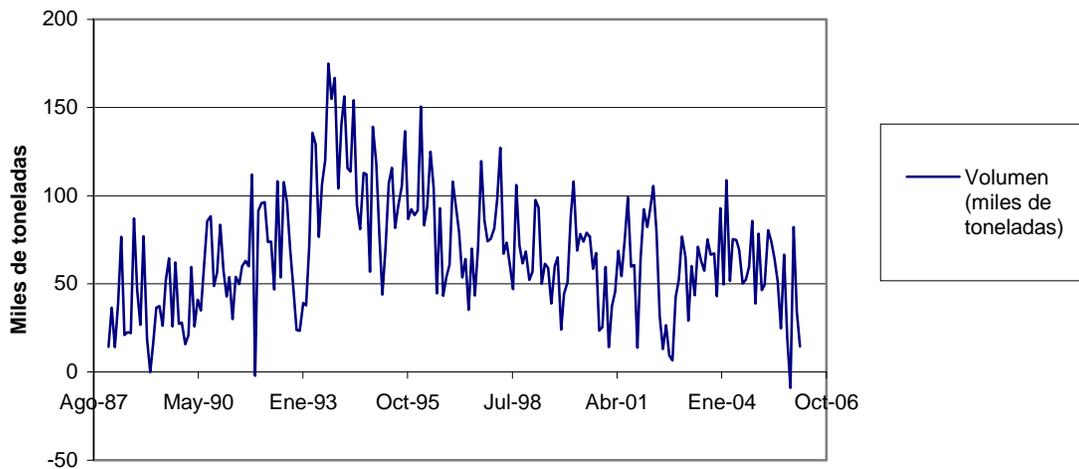
**Figura 18. Exportaciones e importaciones de petroquímicos (en volumen, datos mensuales)**



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

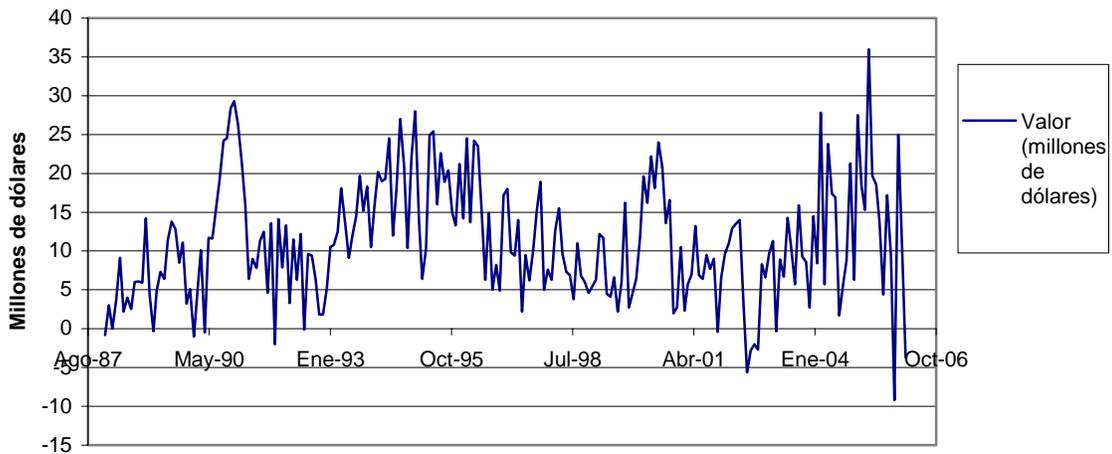
Como ya se mencionó el superávit comercial medido en toneladas ha disminuido en los últimos años (figura 19), no obstante, la balanza comercial medida en términos de valor (millones de dólares) ha aumentado (figura 20), esto se debe a que los precios de los petroquímicos durante los últimos años se han elevado.

**Figura 19. Balanza comercial (en volumen) de la IPQ a nivel agregado de México (datos mensuales)**



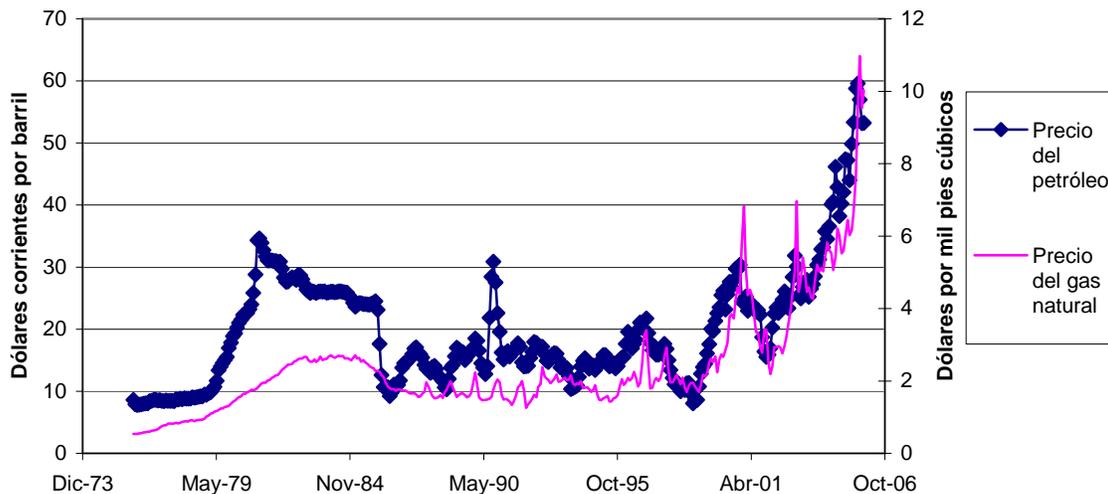
Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

**Figura 20. Balanza comercial (en valor) de la IPQ a nivel agregado de México (datos mensuales)**



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

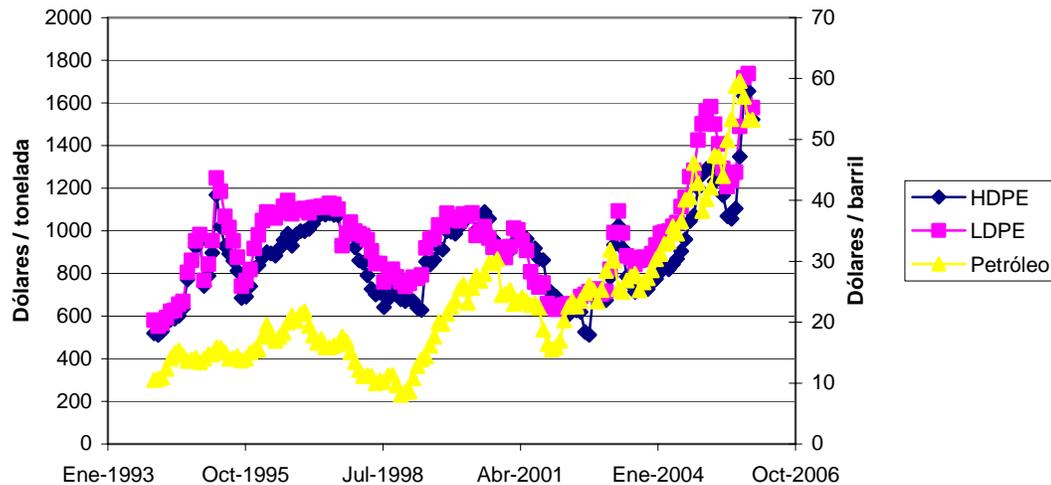
**Figura 21. Precios corrientes del petróleo y del gas natural (datos mensuales)**



Fuente: elaboración propia con datos de Energy Information Administration (EIA).

Los precios del petróleo y del gas natural afectan los costos de producción de los petroquímicos de forma directa. El precio promedio del petróleo durante el periodo 1973-2006 (figura 21) ha oscilado mucho. A inicios de la década pasada se encontraba por arriba de la los 30 dólares por barril (base dólares de 2004), a partir de entonces presentó una tendencia decreciente hasta llegar a tocar los 15 dólares promedio por barril, luego se presenta la parte creciente del ciclo en donde en el 2004 el precio promedio del barril era cercano a los 40 dólares. En los últimos meses el precio promedio del barril de petróleo ha estado por encima de los 60 dólares.

**Figura 22. Precios del polietileno y precio del petróleo**



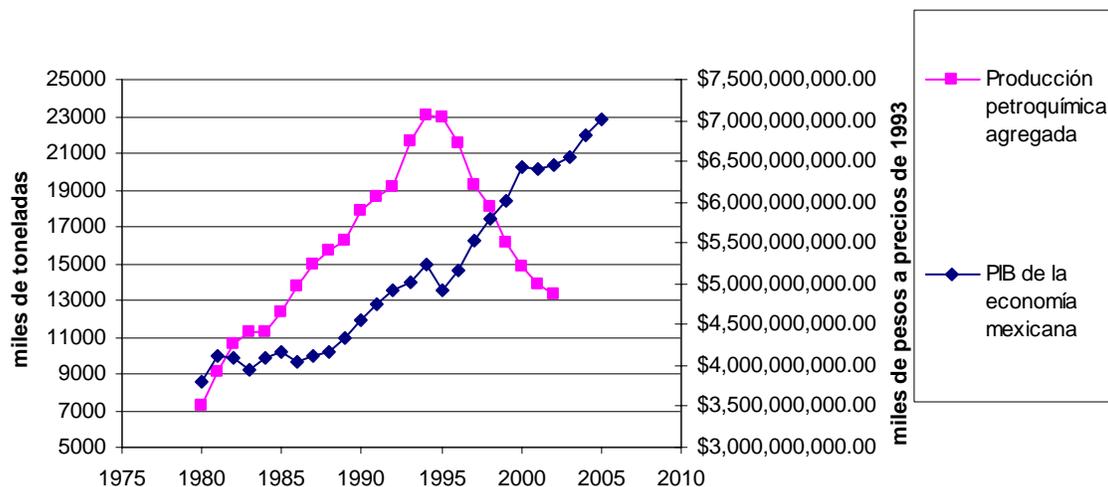
Nota: HDPE significa high-density-polyethylene y LDPE significa low-density-polyethylene

Fuente: elaboración propia con datos de PEMEX, EIA e INEGI.

#### IV.- CAMBIO ESTRUCTURAL EN LA PRODUCCIÓN

Debido a que el crecimiento de la demanda de productos de la industria química ha consistentemente sobrepasado las tasas de crecimiento económico de los países desarrollados desde 1945<sup>21</sup> se tuvo el interés de analizar la evolución de la producción petroquímica mexicana y del PIB nacional.

**Figura 23. Producción petroquímica agregada y PIB mexicano**



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

<sup>21</sup> Chapman, Keith. *The international petrochemical industry: evolution and location*, chapter 5, "Technology, markets and growth 1950-1973", pp 91.

En la figura 23 se observa a la producción petroquímica mexicana y al PIB de la economía mexicana desde 1980 hasta el 2005 en datos anuales. En dicha gráfica se observa que la tendencia creciente que seguían estas variables se ve rota aproximadamente entre 1994 y 1995. Es decir, la IPQ dejó de ser una industria importante en las políticas de desarrollo industrial. La pregunta es, ¿existe una política de desarrollo industrial?, ¿Qué instituciones son las encargadas del desarrollo industrial de México?

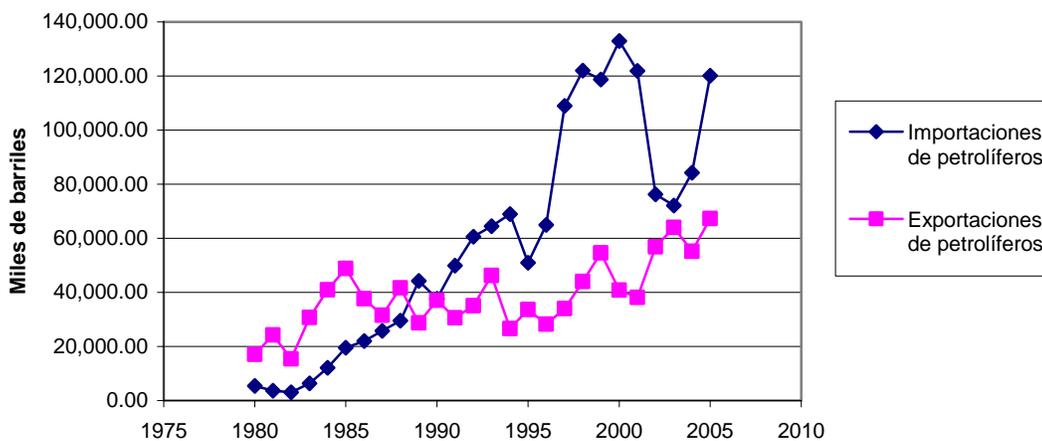
Este cambio en la trayectoria de la producción petroquímica mexicana se debe a varias causas, sin embargo, lo que es un hecho es que ha faltado coordinación o quizá voluntad en los niveles de gobierno para que se incentiven políticas eficaces en materia de desarrollo de la industria petroquímica.

Se ha estudiado que las economías de los países desarrollados al crecer demandan más productos petroquímicos, y que los productores petroquímicos importantes no sólo están instalados en donde se encuentren los mercados más demandantes de petroquímicos, también se encuentran en donde se tenga la materia prima a menor costo, es decir, en las regiones que son grandes productoras de crudo y gas.

Lo anterior sugiere que México no está explotando una ventaja competitiva, ya que al ser un importante productor de crudo y tener oportunidad de desarrollar su industria petroquímica ha optado por no incentivarla, yendo en contra de las estrategias a nivel mundial.

La industria petroquímica básica y desregulada es abastecida de materias primas provenientes de las plantas refinadoras de petróleo y/o del gas natural, empero, uno de los objetivos de las refinerías es ocupar sus distintos productos para el pool de gasolinas. De esta forma en lugar de abastecer de materias primas a la industria petroquímica nacional se utilizan los productos de la refinación esencialmente como combustibles. Aunado a esta problemática se ha observado que la demanda de combustibles en México ha continuado creciendo, llegando al grado de tener que importar gasolina y gas (ver figura 24).

**Figura 24. Importaciones y exportaciones de petrolíferos en México**

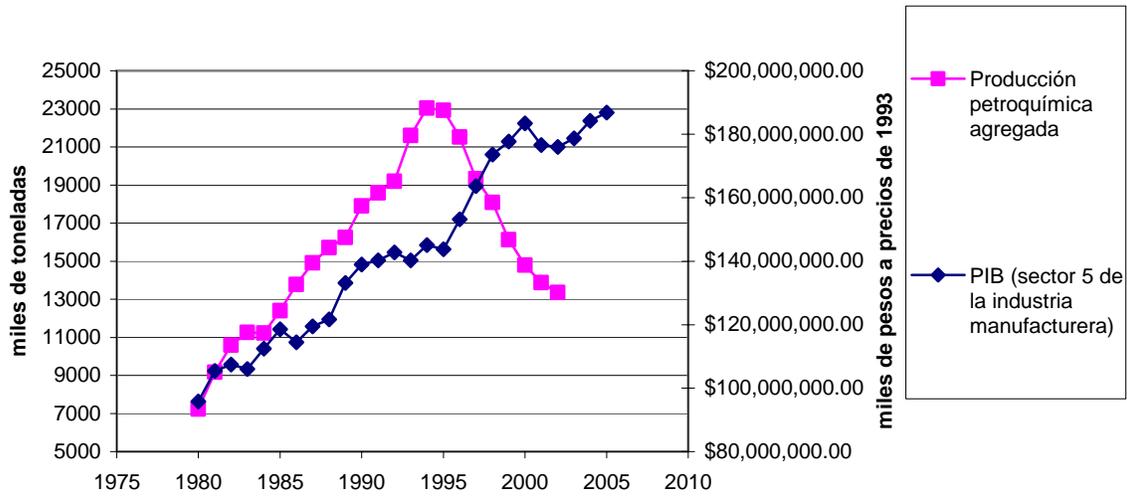


Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

De esta forma se ve que uno de los problemas en México de la industria petroquímica es que existe una competencia en utilizar los productos de refinación como materia prima de la industria petroquímica o como combustible.

Lo anterior sugiere que el problema al que se enfrenta la IPQ nacional es complicado ya que mientras no haya compromiso por parte de las autoridades correspondientes de abastecimiento de materias primas de forma constante y abundante es inviable cualquier clase de proyecto petroquímico.

**Figura 25. Producción petroquímica agregada y PIB del sector manufacturero V**



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

En la última gráfica se observa que también existe un rompimiento en la trayectoria que seguían la producción de la industria manufacturera del sector V de la economía con la producción petroquímica agregada, esto nuevamente sugiere que mientras otros sectores de la industria química han continuado creciendo, el desarrollo del sector petroquímico ha parado.

Lo anterior también puede ser explicado en gran medida a que los distintos Gobiernos han sido ineficaces en la planeación e impulso del sector, es decir, la política industrial pareciese no existir en un marco en donde el Gobierno es el responsable del fomento de industrias competitivas - como la IPQ - y al mismo tiempo es el mayor productor de petroquímicos en el país a través de PEMEX.

#### **ROMPIMIENTO PRODUCCIÓN – VENTAS INTERNAS**

Lo que se trata de explicar en este apartado es que tanto ha afectado el rompimiento de las tendencias del PIB y la producción petroquímica agregada ( $Y_{PQ}$ ) a las ventas internas agregadas ( $V_{PQ}$ ).

La hipótesis es la siguiente:

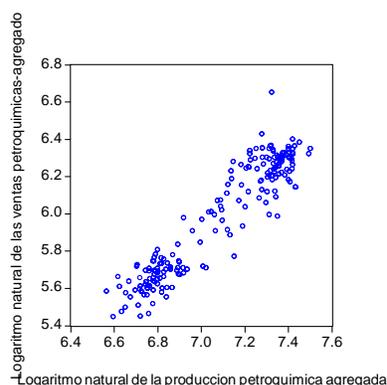
Se supone que existe cointegración entre la variable " $V_{PQ}$ " y la producción petroquímica agregada ( $Y_{PQ}$ ) entre 1990 y 1995. De esta forma si existe rompimiento de la cointegración original entre " $V_{PQ}$ " y " $Y_{PQ}$ " a partir de 1995 entonces se indicará que el efecto del

rompimiento entre las tendencias del PIB y “Y<sub>PQ</sub>” ha afectado a la variable “V<sub>PQ</sub>” y en que sentido.

Se analizó la cointegración entre V<sub>PQ</sub> y Y<sub>PQ</sub> para observar si la ruptura de las tendencias entre el PIB nacional y Y<sub>PQ</sub> afectó o no el desenvolvimiento de V<sub>PQ</sub>.

En el trabajo econométrico las variables fueron utilizadas con logaritmos naturales. El logaritmo natural de las ventas internas de productos petroquímicos a nivel agregado se representa como “V<sub>PQ</sub>” y el logaritmo natural de la producción petroquímica agregada se representa como “Y<sub>PQ</sub>”. Los datos son mensuales de enero de 1990 a febrero de 2006.

**Figura 26. Ventas y producción petroquímicas a niveles agregados**



Lo anterior parece indicarnos que existe cierta relación lineal entre las ventas internas de la producción nacional y la producción nacional misma, a continuación se analiza la dependencia entre estas variables.

Se realizó la prueba de causalidad de Granger y se encontró que “Y<sub>PQ</sub>” causa en el sentido de Granger a “V<sub>PQ</sub>” (tabla 16).

$$V_{PP} \approx \beta Y_{PP}$$

Se estimó el modelo  $V_{PQ} = \beta_0 + \beta_1 Y_{PQ}$  por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) (tabla 17).

$$V_{PQ} = -1.443325 + 1.048871 Y_{PQ}$$

Al modelo anterior se le aplicaron las pruebas Cusum y Cusum-cuadrada y se observa en la figura 27 cambio estructural.

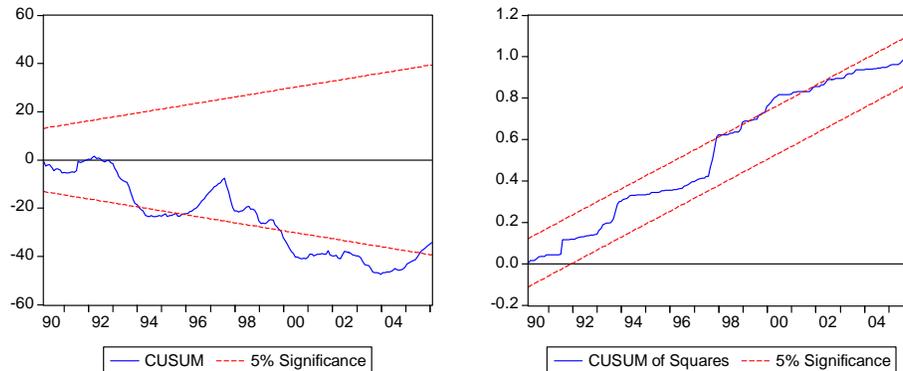
Antes de realizar la prueba de cointegración de las variables ya mencionadas se realizaron diversas pruebas de raíces unitarias para las variables Y<sub>PQ</sub> y V<sub>PQ</sub> donde se encontró que se comportan como procesos I(1), (tablas 18, 19, 20 y 21).

Posterior a esto se analizó la cointegración de las variables anteriores para el periodo de enero de 1990 a febrero de 2006. Primero se seleccionó un VAR con 3 rezagos utilizando el criterio de Schwarz (tabla 22). Como segundo paso se realizó la prueba de cointegración de Johansen con 2 rezagos para diferentes modelos y se seleccionó el modelo “2”<sup>22</sup> (tabla 23) el cual sólo tiene intercepto en el vector de cointegración. De esta forma tanto la prueba de la traza como la prueba del eigenvalor máximo muestran que existe un vector de

<sup>22</sup> Se seleccionó el modelo “2” utilizando el criterio de Schwarz.

cointegración entre las dos variables analizadas para el periodo de enero de 1990 a febrero de 2006 (tabla 24).

**Figura 27. Pruebas cusum y cusum-cuadrada para la estimación de  $V_{PQ} = \beta_0 + \beta_1 Y_{PQ}$**



La prueba de cusum y cusum cuadrada muestran que existe rompimiento en el comportamiento de  $Y_{PQ}$  y  $V_{PQ}$  mientras que la prueba de cointegración de Johansen exhibe presencia de cointegración entre las variables  $Y_{PQ}$  y  $V_{PQ}$  durante el periodo analizado. Por estas razones se utilizó un método reciente y que se considera más potente para el análisis de cointegración: el método de Andrews-Kim para análisis de cointegración de variables<sup>23</sup>. De esta forma en la tabla 25 se observa que en las tres pruebas realizadas ( $P_a$ ,  $P_b$ ,  $P_c$ ) se acepta rompimiento en la cointegración de las variables para el periodo de enero de 1990 a enero de 1994 con respecto al periodo de 1994 a 2006. Para este trabajo, y de acuerdo a lo que los autores de la prueba plantean en su artículo, el estadístico que nos interesó es  $P_c$  por lo que se concluye que sí existe cambio en la cointegración de  $V_{PQ}$  y  $Y_{PQ}$ .

De esta forma al realizar regresiones para los periodos mencionados la propensión marginal de la producción petroquímica agregada bajó en la última década.

Los resultados de las estimaciones por MCO son los siguientes:

Periodo enero 1990 – enero 1994:  $V_{PQ} = 0.8522834014 * Y_{PQ}$

Periodo febrero 1994 – febrero 2006:  $V_{PQ} = 0.8427122191 * Y_{PQ}$

Periodo enero 1990 – febrero 2006:  $V_{PQ} = 0.8453017565 * Y_{PQ}$

De esta forma se comprobó que la ruptura entre la tendencia del PIB y la producción petroquímica agregada ha afectado negativamente a las ventas internas de petroquímicos; a pesar de que el efecto es pequeño, es significativo.

El desarrollo del mercado interno petroquímico a nivel agregado se ha visto afectado de forma negativa. La entrada de México en el GATT, y más tarde la firma del TLCAN ha sido la génesis del cambio de criterios ideológicos y políticos a los imperativos económicos. “La presión de los socios del norte para formar un mercado regional a nivel energético se acentuó”<sup>24</sup>. Entre 1985 y la década de 1990 es cuando los cambios legales se

<sup>23</sup> Andrews, Donald W.K., Kim, Jae-Young. *End of sample cointegration breakdown tests*. Cowles Foundation Discussion Paper No. 1404. Marzo de 2003.

<sup>24</sup> Rousseau, Isabelle. *Reformas y apertura en Petróleos Mexicanos: el gas natural y la petroquímica secundaria (1989-2000)*. Universidad de Ámsterdam, julio de 2002.

estructuran y de esta forma se da entrada a una nueva dirección en materia de política en el sector petroquímico, la cual no ha sido beneficiosa a nivel agregado cuando menos por el momento. La falta de tacto político y de propuestas creíbles por parte del gobierno mexicano han llevado al fracaso cada una de los intentos por vender plantas petroquímicas en manos del Estado, o por llevar a cabo nuevos proyectos manejados por la iniciativa privada o por el mismo gobierno, en pocas palabras, ha faltado más que imaginación para impulsar el desarrollo petroquímico de México, pareciese que no existe voluntad política.

### ROMPIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN PETROQUÍMICA MEXICANA

Como aproximación econométrica de la producción petroquímica agregada se plantea el siguiente modelo<sup>25</sup>:

$$(1) \quad Y_{PQ} = \beta_1 + \beta_2 * P_{GN} + \beta_3 * XN_{PQ}$$

donde:

$Y_{PQ}$ : producción petroquímica nacional agregada (miles de toneladas).

$P_{GN}$ : precio del gas natural (dólares por miles de pies cúbicos).

$XN_{PQ}$ : exportaciones netas a nivel agregado de productos petroquímicos (miles de toneladas)<sup>26</sup>.

De esta forma la producción petroquímica a nivel macroeconómico se ve reflejada a través de la balanza comercial ( $XN_{PQ}$ ) y del precio de la materia prima ( $P_{GN}$ ); el precio de la materia prima es determinante en la viabilidad de proyectos petroquímicos. Cabe hacer notar que el precio del gas natural se utilizó en lugar del precio del petróleo porque ajustó estadísticamente de mejor manera a las representaciones estimadas.

En la estimación del modelo econométrico, ecuación (2) y tabla 26, se observa que a medida que aumente el precio de la materia prima ( $P_{GN}$ ) la producción petroquímica a nivel agregada se verá afectada de forma negativa, mientras que entre más grande sea el superávit comercial petroquímico ( $XN_{PQ}$ ) mayor será la producción petroquímica. También se observa que tanto el precio de la materia prima como las exportaciones netas son variables inelásticas con respecto a la producción petroquímica agregada, aunque la producción petroquímica es mucho más sensible ha cambios en el precio del insumo.

$$(2) \quad Y_{PQ} = 7.084561465 - 0.4184922438 * P_{GN} + 0.09529685822 * XN_{PQ}$$

Todos los coeficientes son significativos, sin embargo, el modelo presenta problemas de cambio estructural; la prueba estadística aplicada fue “cusum cuadrada” (figura 28).

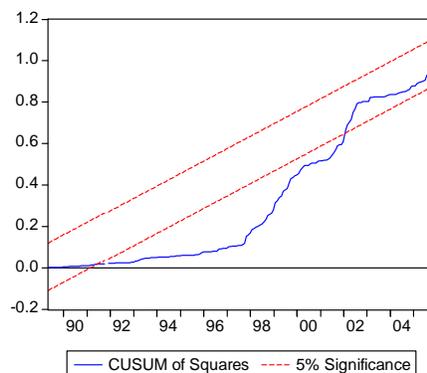
Para corregir el problema de cambio estructural se utilizaron variables dicótomas. La primera variable dicótoma utilizada es la denominada “DUMMY1” la cual trata de medir cambio estructural motivado por el cambio organizacional que presentó Petróleos Mexicanos (PEMEX) en julio de 1992, cuando el entonces director de PEMEX – el

<sup>25</sup> Se estimaron otros modelos con el fin de encontrar la mejor representación para la producción petroquímica agregada de México, sin embargo, el modelo de la ecuación (1) mostró lógica y simplicidad al ser estimado por lo cual es el que se utiliza para observar el cambio estructural en la producción. Es importante hacer notar que el modelo presenta problemas de endogeneidad como resultado de las variables que se utilizan y debido a la existencia de una sola ecuación.

<sup>26</sup> Las variables  $Y_{PQ}$ ,  $P_{GN}$  y  $XN_{PQ}$  están en logaritmo natural.

contador Francisco Rojas – dio a conocer el programa de transformación de la Paraestatal. PEMEX se separó en las 4 subsidiarias mencionadas con antelación.

**Figura 28. Prueba cusum cuadrada para la ecuación (2)**



La segunda variable dicótoma, “DUMMY2” trata de medir cambio estructural debido a la entrada en vigor del TLCAN, esta variable toma valores de cero hasta diciembre de 1993 y valores de uno para los datos posteriores a enero de 1994. La variable “DUMMY3” trata de medir cambio estructural en 1995 debido a la devaluación del tipo de cambio nominal que México presentó en ese año, esta variable toma valores de cero hasta diciembre de 1994 y valores de uno para los datos posteriores a enero de 1995. La última variable dicótoma que se consideró es la nombrada “DUMMY4” la cual trata de evaluar cambio estructural motivado por el cambio al artículo 27 constitucional en el ramo petrolero<sup>27</sup>, donde se estableció – entre otras disposiciones – que el transporte, el almacenamiento y la distribución de gas natural pueden llevarse a cabo por los sectores social y privado<sup>28</sup>.

Las estimaciones incluyendo variables dicótomas nos arrojan las dos siguientes representaciones estadísticamente significativas:

Modelo A: (tabla 27)

$$(3) \quad Y_{PQ} = 7.053586341 - 0.1785445151 * DUMMY4 - 0.3093026011 * P_{GN} + 0.1054258426 * XN_{PQ}$$

Modelo B: (tabla 28)

$$(4) \quad Y_{PQ} = 3.155586944 - 0.08347648536 * DUMMY4 - 0.0803686203 * P_{GN} + 0.07316414515 * XN_{PQ} + 0.6274132622 * V_{PQ}$$

Ambos modelos tienen todos sus coeficientes significativos al 5 % y pasan las pruebas de cambio estructural. Para más detalles de las regresiones ver el apéndice correspondiente a cambio estructural.

El modelo A y el modelo B tienen los mismos signos. Al aumentar el precio de la materia prima ( $P_{GN}$ ) la producción decrece motivada por el aumento de los costos de producción. Al aumentar las exportaciones netas ( $XN_{PQ}$ ) o las ventas internas ( $V_{PQ}$ ) la producción agregada

<sup>27</sup> Sin embargo, la variable dicótoma “DUMMY4” también tiene que ver con la crisis económica de la época, con la fallida búsqueda de privatización de la petroquímica entre otros.

<sup>28</sup> Rousseau, Isabelle. *Reformas y apertura en Petróleos Mexicanos: el gas natural y la petroquímica secundaria (1989-2000)*. Universidad de Ámsterdam, julio de 2002.

umenta. Tanto en el modelo “A” y “B” se observa que después de la reforma al artículo 27 constitucional de mayo de 1995 hubo un decrecimiento en la producción agregada que es importante en los modelos, ya que estadísticamente al ingresar la variable “DUMMY4” se corrige el problema de cambio estructural.

Cabe recordar que en el ejercicio econométrico, la “DUMMY4” es también el acumulado de diversos cambios en el panorama micro y macroeconómico del sector, por tal no se puede decir que sólo debido a la reforma de mayo de 1995 al artículo 27 constitucional se desalentó y ralentizó el desarrollo o impulso a la IPQ, pero es importante hacerla notar como uno de los factores económicos relevantes de la época y del sector.

## V.- VIABILIDAD DE PROYECTOS PETROQUÍMICOS

En este apartado se estimó la viabilidad económica de la instalación de nuevas plantas petroquímicas en el país a través de la tasa interna de retorno (TIR)<sup>29</sup>. Para esta evaluación se analiza el caso representativo de una planta de polietileno de baja densidad (LDPE, low density polyethylene).

Para evaluar la TIR se necesita que se cumpla lo siguiente:

$$(5) \quad \sum_{\theta=1}^n FD_{\theta} - I_0 = 0$$

Los flujos de efectivo “FD<sub>θ</sub>” se calcularon de la siguiente forma:

$$(6) \quad FD_{\theta} = (1 - t_1)(P_{\theta}V_{\theta} - \alpha M_{\theta}V_{\theta} - \beta I_0 - \gamma P_{\theta}V_{\theta}) \frac{1}{(1 + TIR)^{\theta} (1 + \pi)^{\theta}}$$

Donde:

θ: periodo.

P<sub>θ</sub>: precio de mercado del petroquímico en un determinado tiempo (θ).

V<sub>θ</sub>: volumen de ventas del petroquímico (polietileno de baja densidad).

α: coeficiente de eficiencia técnica de la producción.

$$(7) \quad \alpha = \frac{1}{X}$$

X: coeficiente de conversión del proceso de producción del petroquímico<sup>30</sup>.

M<sub>θ</sub>: precio de mercado de la materia prima (etileno).

I<sub>0</sub>: inversión inicial.

β: coeficiente de amortización de la inversión inicial.

γ: coeficiente de remuneraciones salariales como proporción de la producción<sup>31</sup>.

<sup>29</sup> Este análisis parte de la idea del Dr. Gustavo Viniegra González del trabajo realizado a través de El Colegio de México para la oficina de asesores del Secretario de Economía presentado en octubre de 2003 e intitulado “Diagnóstico y perspectivas de la industria química de México”.

<sup>30</sup> El coeficiente de conversión (X) es igual a las moles (o masa) de alimentación (o de un compuesto de ésta) que reaccionan en el proceso entre las moles (o masa) de alimentación (o de un compuesto de ésta) introducidos.

$t_1$ : impuesto sobre la renta.

TIR : tasa interna de retorno.

$\pi$  : tasa de inflación.

De esta forma:

- $P_\theta V_\theta$ : *ingresos brutos*.
- $\alpha M_\theta V_\theta = \frac{\alpha P_\theta V_\theta}{\left(\frac{P_\theta}{M_\theta}\right)} = \frac{\alpha P_\theta V_\theta}{P_r}$  : *costos asociados a las materias primas*.

Donde se considera la existencia de un precio relativo constante entre el petroquímico y su materia prima ( $P_r$ )

$$(8) \quad P_r = \frac{P_\theta}{M_\theta}.$$

$\beta I_0$  : *costos asociados a la amortización de la planta*.

- $\gamma P_\theta V_\theta$ : *costos asociados a las remuneraciones salariales como proporción de la producción*.

Entonces la ecuación a resolver para encontrar la TIR es la siguiente:

$$(9) \quad \sum_{\theta=1}^n \left\{ (1-t_1) \left( P_\theta V_\theta - \frac{\alpha P_\theta V_\theta}{P_r} - \beta I_0 - \gamma P_\theta V_\theta \right) \frac{1}{(1+TIR)^\theta (1+\pi)^\theta} \right\} - I_0 = 0$$

En la tabla 1 se observan los posibles cambios en las variables de la ecuación (9) y su repercusión en la tasa interna de retorno.

**Tabla 1. Análisis de sensibilidad**

Cambio en la variable	Efecto en la TIR
▲ ( $t_1$ )	▼ (TIR)
▲ (P)	▲ (TIR)
▲ (V)	▲ (TIR)
▲ (M) (implica ▼ ( $P_r$ ))	▼ (TIR)
▲ (X)	▲ (TIR)
▲ ( $\alpha$ ) (debido a ▼ (X))	▼ (TIR)
▲ ( $\pi$ )	▼ (TIR)
▲ ( $\beta$ )	▼ (TIR)
▲ ( $\gamma$ )	▼ (TIR)
▲ ( $I_0$ )	▼ (TIR)

<sup>31</sup> El coeficiente se obtuvo de la industria química básica en los últimos 10 años, además se añadió un 5 % más debido a los costos en materia de servicios de planta.

## RECAUDACIÓN DE IMPUESTOS

También se analiza el problema de recaudación del Gobierno. La idea esencial es observar la existencia de variables de política económica para incentivar a esta clase de proyectos.

El problema de la empresa para hacer viable el proyecto petroquímico es hacer que se cumpla:

$$(10) \quad \sum_{\theta=1}^n \left\{ (1-t_1) \left( P_{\theta} V_{\theta} - \frac{\alpha P_{\theta} V_{\theta}}{P_r'} - \beta I_0 - \gamma P_{\theta} V_{\theta} \right) \frac{1}{(1+TIR)^{\theta} (1+\pi)^{\theta}} \right\} - I_0 = 0$$

*s.a. : TIR ≥ 8%*

Ahora se define la variables  $P_r'$ , la cual es el precio relativo después de que el precio de la materia prima se modifique a través de la tasa “ $t_2$ ”. De esta forma si “ $t_2$ ” es negativo significa que se está subsidiando el precio de la materia prima; si “ $t_2$ ” es positivo se está incrementando el precio de la materia prima. Recordar que “ $M_0$ ” es el precio internacional de la materia prima en el periodo “0”.

$$(11) \quad P_r' = \frac{P_{\theta}}{M_0(1-t_2)} = \frac{P_r}{(1-t_2)}$$

La recaudación del gobierno en valor presente es la siguiente:

$$(12) \quad G_{\theta} = \frac{t_1 \left( P_{\theta} V_{\theta} - \frac{\alpha P_{\theta} V_{\theta}}{P_r'} - \beta I_0 - \gamma P_{\theta} V_{\theta} \right) + (1-t_2)(\alpha M_{\theta} V_{\theta})}{(1+r)^{\theta} (1+\pi)^{\theta}}$$

o escrito en términos de precios relativos

$$(13) \quad G_{\theta} = \frac{t_1 \left( P_{\theta} V_{\theta} - \frac{\alpha P_{\theta} V_{\theta}}{\frac{P_r}{(1-t_2)}} - \beta I_0 - \gamma P_{\theta} V_{\theta} \right) + (1-t_2) \frac{(\alpha P_{\theta} V_{\theta})}{P_r}}{(1+r)^{\theta} (1+\pi)^{\theta}}$$

Donde “G” es la recaudación por parte del Gobierno descontada y “r” es la tasa de interés real de la economía.

En la última ecuación se observa que el primer término del numerador corresponde a la recaudación por concepto de impuesto sobre la renta del proyecto y el segundo término se refiere a las ganancias por vender las materias primas que necesita la producción.

Debido a lo anterior se define el problema de recaudación intertemporal del Gobierno en valor presente:

$$(14) \quad \begin{aligned} & \text{Max}_{\{t_2\}} \left\{ \sum_{\theta=1}^n \frac{t_1 \left( P_{\theta} V_{\theta} - \frac{\alpha P_{\theta} V_{\theta} (1-t_2)}{P_r} - \beta I_0 - \gamma P_{\theta} V_{\theta} \right) + (1-t_2) \frac{(\alpha P_{\theta} V_{\theta})}{P_r}}{(1+r)^{\theta} (1+\pi)^{\theta}} \right\} \\ & \text{s.a. : } \sum_{\theta=1}^n \left\{ (1-t_1) \left( P_{\theta} V_{\theta} - \frac{\alpha P_{\theta} V_{\theta} (1-t_2)}{P_r} - \beta I_0 - \gamma P_{\theta} V_{\theta} \right) \frac{1}{(1+TIR)^{\theta} (1+\pi)^{\theta}} \right\} - I_0 = 0 \\ & \text{s.a. : } TIR \geq 8\% \end{aligned}$$

De tal forma que el planeador social maximiza la recaudación de quien vende las materias primas y de quien recauda el ISR de manera conjunta. Este planeador social al maximizar la recaudación total siguiendo este esquema está comprometido a incentivar el desarrollo de proyectos petroquímicos ( $TIR \geq 8\%$ ) modificando el precio de la materia prima a través del parámetro “ $t_2$ ” dada una tecnología medida a través del parámetro de eficiencia técnica ( $\alpha$ ) y del precio relativo ( $P_r$ ).

Las variables de política que se consideran como tales son el precio de la materia prima ( $M_{\theta}$ ) modificado a través de “ $t_2$ ” y el coeficiente de eficiencia técnica ( $\alpha$ ).

#### RECAUDACIÓN DE IMPUESTOS CON ESCENARIOS

El Gobierno también puede optimizar intertemporalmente su recaudación en valor presente bajo distintos escenarios de precios. El problema se plantea de la siguiente forma:

$$(15) \quad \begin{aligned} & \text{Max}_{\{t_2\}} \left\{ \sum_{\theta=1}^n \left( t_1 \left( E[P_{\theta}] V_{\theta} - \frac{\alpha E[P_{\theta}] V_{\theta} (1-t_2)}{P_r} - \beta I_0 - \gamma E[P_{\theta}] V_{\theta} \right) + t_2 \left( \frac{\alpha E[P_{\theta}] V_{\theta}}{P_r} \right) \right) \rho_{\theta} \right\} \\ & \text{s.a. : } \sum_{\theta=1}^n \left\{ (1-t_1) E \left( P_{\theta} V_{\theta} - \frac{\alpha P_{\theta} V_{\theta} (1-t_2)}{P_r} - \beta I_0 - \gamma P_{\theta} V_{\theta} \right) \rho_{\theta}^{TIR} \right\} - I_0 = 0 \\ & \text{s.a. : } TIR \geq 8\% \end{aligned}$$

Donde los factores de descuento son los siguientes:

$$(16) \quad \rho_{\theta} = \left( \frac{1}{(1+r)^{\theta} (1+\pi)^{\theta}} \right);$$

$$(17) \quad \rho_{\theta}^{TIR} = \left( \frac{1}{(1+TIR)^{\theta} (1+\pi)^{\theta}} \right)$$

Se propone que las expectativas de precios dependan de dos estados, uno bueno y otro malo en términos del precio del producto petroquímico, es decir, uno de precios altos y otro de precios bajos con probabilidad “ $h$ ” y “ $1-h$ ” respectivamente.

$$(18) \quad E[P_{\theta}] = hP_{\theta}^1 + (1-h)P_{\theta}^2$$

$P_{\theta}^1$ : Es el precio del petroquímico en el tiempo  $\theta$  cuando los precios son altos.

$P_{\theta}^2$ : Es el precio del petroquímico en el tiempo  $\theta$  cuando los precios son bajos.

Si  $h = 0.5$  el problema a resolver es el que se observa en la siguiente ecuación

$$(19) \quad \begin{aligned} & \text{Max}_{\{t_2\}} \left\{ \sum_{\theta=1}^n \left( t_1 \left( (0.5P_{\theta}^1 + 0.5P_{\theta}^2) V_{\theta} - \frac{\alpha(0.5P_{\theta}^1 + 0.5P_{\theta}^2) V_{\theta}}{\frac{P_r}{(1-t_2)}} - \beta I_0 - \gamma(0.5P_{\theta}^1 + 0.5P_{\theta}^2) V_{\theta} \right) \right. \right. \\ & \quad \left. \left. + (1-t_2) \left( \frac{\alpha(0.5P_{\theta}^1 + 0.5P_{\theta}^2) V_{\theta}}{P_r} \right) \right) \rho_{\theta} \right\} \\ & \text{s.a.: } \sum_{\theta=1}^n \left( (1-t_1) \left( (0.5P_{\theta}^1 + 0.5P_{\theta}^2) V_{\theta} - \frac{\alpha(0.5P_{\theta}^1 + 0.5P_{\theta}^2) V_{\theta}}{\frac{P_r}{(1-t_2)}} - \beta I_0 - \gamma(0.5P_{\theta}^1 + 0.5P_{\theta}^2) V_{\theta} \right) \rho_{\theta}^{TIR} \right) - I_0 = 0 \\ & \text{s.a.: } TIR \geq 8\% \end{aligned}$$

### ANÁLISIS DE DATOS PARA LAS EVALUACIONES

La planta que se toma como referencia es la que construyó Pars Petrochemical Co. en Asaluyeh, Irán<sup>32</sup>.

#### *Inversión inicial ( $I_0$ )*

La inversión inicial es de 120 millones de dólares<sup>33</sup>.

#### *Capacidad de producción ( $V_{\theta}$ )*

Producción inicial de 250,000 toneladas anuales y una capacidad plena de 300,000 toneladas anuales a partir del tercer año.

#### *Tiempo de construcción, amortización y operación de la planta ( $n$ )*

La construcción, arranque y pruebas de garantía de la planta toma un tiempo de  $n_1 = 3$  años. El proyecto tendría producción comercial a partir del tercer año y el periodo de producción de la planta es de  $n_3 = 15$  años, el tiempo de amortización de la planta es  $n_2 = 10$  años.

#### *Coefficiente de amortización de la planta ( $\beta$ )*

Este coeficiente fue calculado para que se amortice toda la inversión inicial de la planta, es decir, recuperar en 15 años la inversión de 120 millones de dólares, de tal forma que para una inflación anual del 3%  $\beta = 0.083$ , y para una inflación del 5%  $\beta = 0.096$ .

#### *Coefficiente de conversión ( $X$ )*

El valor del coeficiente de conversión del proceso de producción generalmente está entre 0.95 y 0.98<sup>34</sup>.

#### *Coefficiente de eficiencia técnica ( $\alpha$ )*

El coeficiente de eficiencia técnica es el inverso del coeficiente de conversión  $\left( \alpha = \frac{1}{X} \right)$  y dependiendo de la tecnología utilizada generalmente tiene los siguientes valores: 1.05 y 1.02.

<sup>32</sup> Chemical Engineering, Diciembre 2002, página 87.

<sup>33</sup> El costo de la planta se actualizó a precios de 2005 a través del índice "Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)" el cual edita la revista Chemical Engineering anualmente.

<sup>34</sup> Encyclopedia of Chemical Technology, Raymond E. Kirk and Donald F. Othmer, New York: J. Wiley, 1996, vol. 17.

### *Relación precio de petroquímico – precio de materia prima ( $P_r$ )*

Este dato se calculó observando los precios mensuales promedio del LDPE y del etileno durante el periodo comprendido entre enero de 1994 y diciembre de 2005.

Los promedios anuales del precio relativo desde 1994 tuvieron una relación máxima de  $P_r = 2.12$  y la relación más baja fue  $P_r = 1.52$ . El promedio de los promedios anuales fue  $P_r = 1.71$ .

### *Coefficiente de remuneraciones salariales ( $\gamma$ )*

El coeficiente de remuneraciones salariales se obtuvo de la industria química básica en los últimos 10 años. Su valor calculado es de aproximadamente 0.25.

### *Tasa de inflación ( $\pi$ )*

La tasa de inflación que se ocupó para evaluar este proyecto tuvo valores,  $\pi_1 = 3\%$ ,  $\pi_2 = 4\%$  y  $\pi_3 = 5\%$ . El primer valor de la inflación es el objetivo del Banco de México y el segundo valor son las expectativas del presente año<sup>35</sup>, el tercer valor es la inflación promedio en los últimos 6 años. Se ocupó la inflación objetivo del Banco de México.

### *Tasa de interés real ( $r$ )*

La tasa de interés nominal es de  $7.44\%$ <sup>36</sup> y la inflación es del  $3.2\%$ <sup>37</sup>, de esta manera  $r \approx 4\%$ .

### *Tasa impositiva del impuesto sobre la renta ( $t_1$ )*

El nivel de gravamen tomó el valor de 0.35.

### *Tasa impositiva sobre el precio de la materia prima ( $t_2$ )*

La tasa de impuesto sobre el precio internacional de la materia prima ( $M_0$ ), en nuestro ejemplo es el precio del etileno, varía dependiendo del signo de “ $t_2$ ” ya que un signo positivo dice que es un subsidio al precio de la materia prima y un signo negativo indicará que el precio del petroquímico está por arriba del precio internacional de la materia prima ( $M_0$ ).

### *Precio del petroquímico ( $P_0$ )*

El precio del LDPE se pronosticó para los años del periodo 2009 a 2023. Se utilizan los pronósticos del precio del petróleo<sup>38</sup> para fijar un modelo econométrico de tasas de crecimiento y estimar no paramétricamente  $E[P_{LDPE}|P_{Crudo}]$ .

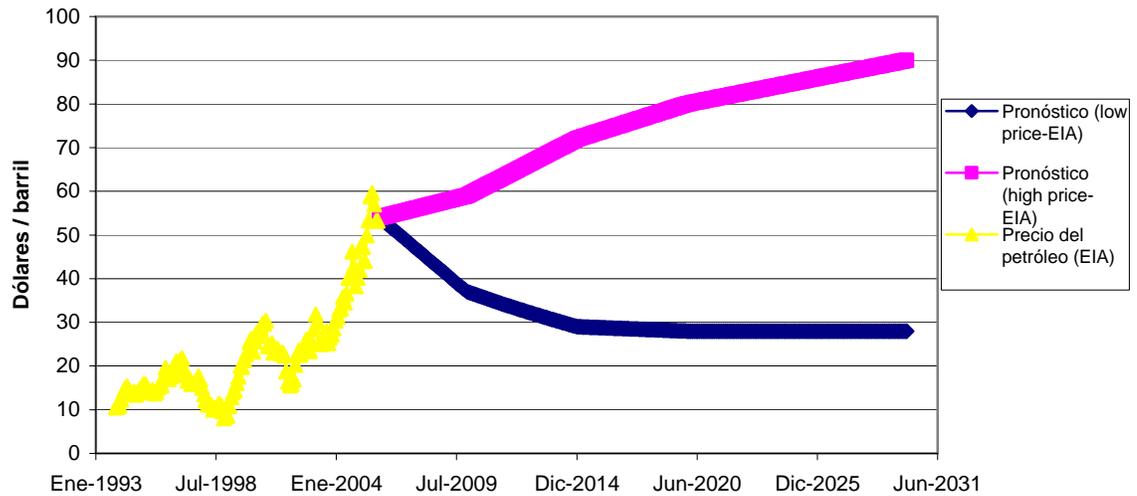
<sup>35</sup> Informe Sobre la Inflación: octubre – diciembre 2005 y Programa Monetario, BANXICO, enero 2006.

<sup>36</sup> Fuente: Banxico, Cetes a 364 días, mayo de 2006.

<sup>37</sup> Fuente: Banxico, inflación anual, abril de 2006.

<sup>38</sup> High Price Case Tables and Low Price Case Tables, Forecast Data Tables, Energy Information Administration (EIA).

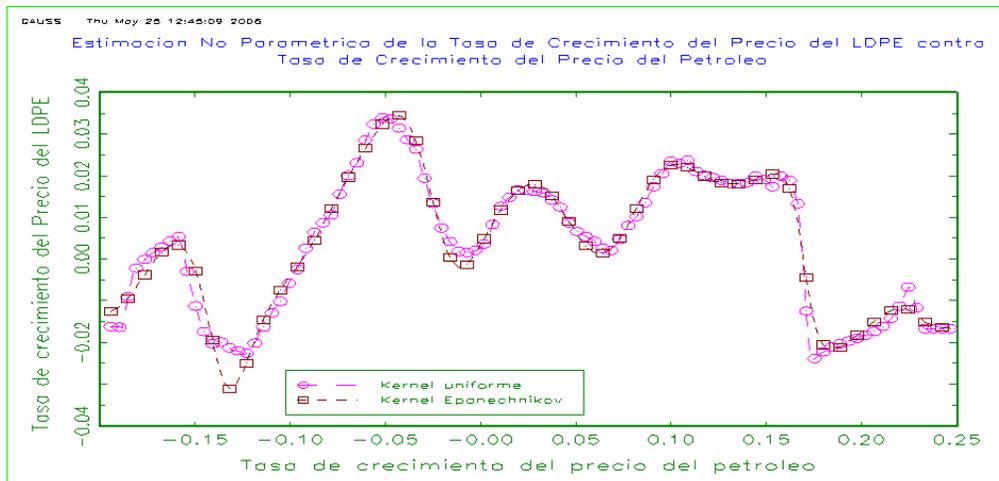
Figura 29. Precio y pronósticos del petróleo



Fuente: elaboración propia con datos de EIA.

Los cálculos de la estimación no-paramétrica se realizaron a través de una ventana (h) óptima subsuavizada. Se utilizó un kernel normal y un kernel de Epanechnikov. El modelado no-paramétrico de  $E[P_{LDPE}|P_{Crudo}]$  es el siguiente:

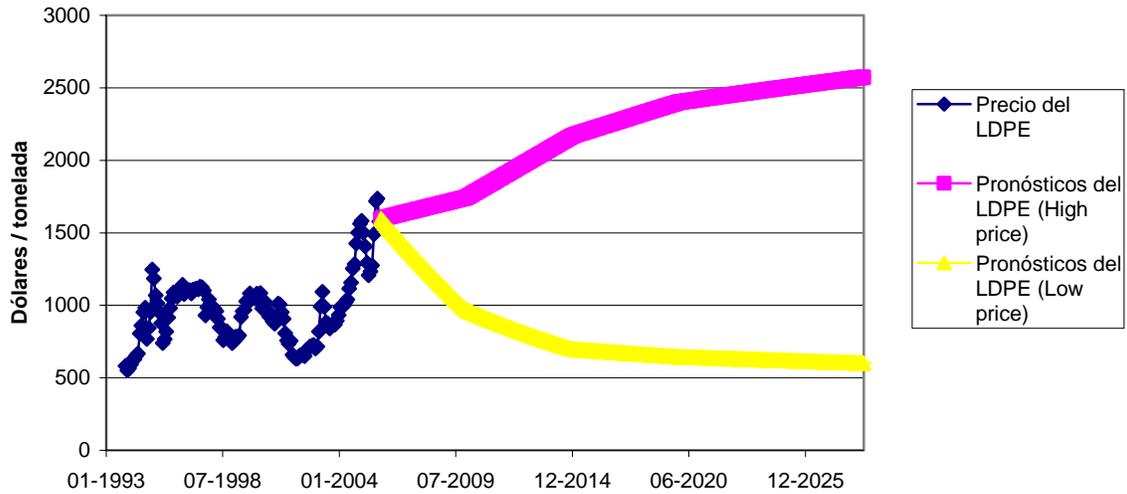
Figura 30. Estimación no-paramétrica de la tasa de crecimiento del precio del LDPE contra tasa de crecimiento de precio del petróleo



Fuente: elaboración propia con datos de PEMEX, EIA e INEGI

Al conocer los pronósticos que realiza la Energy Information Administration y al haber estimado el comportamiento de la tasa de crecimiento del precio del LDPE respecto a la tasa del precio del petróleo se calcularon los pronósticos correspondientes al precio del polietileno los cuales se muestran en la siguiente gráfica.

**Figura 31. Pronósticos (estimados vía no paramétrica) del precio del LDPE**



Fuente: elaboración propia con datos de PEMEX, EIA e INEGI

De esta forma se tienen distintos escenarios de precio del polietileno de baja densidad, los cuales se ven limitados por un escenario pesimista (precios bajos del petroquímico) y un escenario optimista (precios altos del petroquímico).

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

A continuación se muestran las estimaciones de la TIR que resuelven la ecuación (9) bajo distintas condiciones:

$$\sum_{\theta=1}^n \left\{ (1-t_1) \left( P_{\theta} V_{\theta} - \frac{\alpha P_{\theta} V_{\theta}}{P_r} - \beta I_0 - \gamma P_{\theta} V_{\theta} \right) \frac{1}{(1+TIR)^{\theta} (1+\pi)^{\theta}} \right\} - I_0 = 0$$

**Tabla 2. Valores de la TIR con escenario de precios altos**

X	α	P <sub>r</sub>		
		1.52	1.71	2.12
0.95	1.0526	0.055478257	0.278046677	0.561178736
0.98	1.0204	0.125856226	0.324933767	0.596032627
0.99	1.0101	0.146184992	0.339673972	0.607150367

**Tabla 3. Valores de la TIR con escenario de precios bajos**

X	α	P <sub>r</sub>		
		1.52	1.71	2.12
0.95	1.0526	---39	0.018397106	0.208971113
0.98	1.0204	---	0.052853517	0.230844136
0.99	1.0101	---	0.063305114	0.237790557

Se recuerda que al resolver la ecuación (9) se obtiene la tasa interna de retorno de llevar a cabo el proyecto de instalación y operación de una planta de polietileno de baja densidad<sup>40</sup>,

<sup>39</sup> “---” significa que no se puede resolver el problema bajo las condiciones establecidas.

<sup>40</sup> Esta planta la puede instalar un particular o el propio Estado de acuerdo a la regulación actual.

de esta forma las tablas 2 y 3 indican los valores de la TIR bajo distintas condiciones. Por ejemplo, con una tecnología que tenga un coeficiente de conversión de 0.95 ( $\alpha = 1.0526$ ) bajo el escenario de precios altos (tabla 2) y con un precio relativo promedio del petroquímico de 1.71 (dólares por tonelada de LDPE/ dólares por tonelada de etileno) se obtiene una TIR de 27% durante el periodo de vida del proyecto, lo cual parece ser un negocio rentable. Bajo las condiciones anteriores, si la tecnología aumenta a  $X = 0.99$  entonces la TIR es de casi el 34%, es decir, existen incentivos a tener una mejor tecnología pues esto da mucho mayor competitividad a la planta al aumentar los retornos de la inversión. Cabe hacer notar que en el escenario de precios bajos (tabla 3) los valores de la TIR también son bajos, por ejemplo, bajo el escenario de un precio promedio relativo de 1.71 y una tecnología con un coeficiente de conversión del 95% se obtiene una TIR de 1.8%, es decir, el proyecto no es viable pues el inversionista preferirá poner su dinero en el banco y obtener mayores rendimientos en términos reales. Inclusive, con un precio promedio relativo de 1.52 ninguna tecnología hace que la TIR sea positiva por lo cual las condiciones de precios bajos hacen difícil la eventual inversión en un proyecto de estas características.

Es importante notar que entre mejor sea la tecnología existirán mayores incentivos a que el inversionista establezca un proyecto pues existirán mayores retornos a la inversión inicial. Por ejemplo, si se tiene un precio promedio relativo de 1.52 y existe el estado de precios altos, entonces para una tecnología con  $X = 0.95$  se obtiene una TIR de 5.5%, mientras que si se tiene una mejor tecnología,  $X = 0.99$ , se obtiene una TIR de 14.6%.

A continuación se muestran los resultados del esquema de recaudación planteado en la ecuación (14) y (19).

**Tabla 4. Resultados con precios altos (escenario 1)**

$P_r$	1.52				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0.010031504	0.08	\$84,651,290.30	\$3,547,217,768.60	\$3,631,869,058.90
1.0204	-0.021230659	0.08	\$84,651,290.30	\$3,547,217,768.60	\$3,631,869,058.90
1.0101	-0.03165138	0.08	\$84,651,290.30	\$3,547,217,768.60	\$3,631,869,058.90
$P_r$	1.71				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	-0.113714558	0.08	\$84,651,290.30	\$3,547,217,768.60	\$3,631,869,058.90
1.0204	-0.148884491	0.08	\$84,651,290.30	\$3,547,217,768.60	\$3,631,869,058.90
1.0101	-0.160607802	0.08	\$84,651,290.30	\$3,547,217,768.60	\$3,631,869,058.90
$P_r$	2.12				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	-0.380745534	0.08	\$84,651,290.30	\$3,547,217,768.60	\$3,631,869,058.90
1.0204	-0.424348024	0.08	\$84,651,290.30	\$3,547,217,768.60	\$3,631,869,058.90
1.0101	-0.438882188	0.08	\$84,651,290.30	\$3,547,217,768.60	\$3,631,869,058.90

**Tabla 5. Proyecto sin modificación del precio de la materia prima (escenario 1)**

$P_r$	1.52				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0	0.055478257	\$72,070,712.60	\$3,583,162,276.31	\$3,655,232,988.91
1.0204	0	0.125856226	\$110,461,736.99	\$3,473,473,635.19	\$3,583,935,372.18
1.0101	0	0.146184992	\$122,741,694.29	\$3,438,388,042.92	\$3,561,129,737.21
$P_r$	1.71				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0	0.278046677	\$211,415,912.23	\$3,185,033,134.49	\$3,396,449,046.73
1.0204	0	0.324933767	\$245,541,267.25	\$3,087,532,120.17	\$3,333,073,387.42
1.0101	0	0.339673972	\$256,456,784.84	\$3,056,344,927.04	\$3,312,801,711.88
$P_r$	2.12				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0	0.561178736	\$427,006,598.46	\$2,569,059,745.28	<b>\$2,996,066,343.74</b>
1.0204	0	0.596032627	\$454,532,238.59	\$2,490,415,059.20	<b>\$2,944,947,297.78</b>
1.0101	0	0.607150367	463336736.3	2465259352	\$2,928,596,087.80

En las ecuaciones (14) y (19) se recuerda que “ $t_2$ ” mide la modificación al precio de la materia prima, de esta forma si “ $t_2$ ” es positivo significa que se subsidia el precio de la materia prima y si es negativo significa que se aumenta el precio. A su vez, las ecuaciones (14) y (19) significan un contrato que el gobierno celebra con el inversionista en la planta petroquímica, ya que al poner la restricción de la  $TIR \geq 8\%$  variando el precio del petroquímico se fomenta al proyecto pues de esta forma el inversionista asegura la rentabilidad del proyecto bajo cualquier escenario. En todos los resultados de la tabla “4” la restricción de la  $TIR \geq 8\%$  se cumple con igualdad.

En la tabla “4” se observa que bajo el escenario “1” (precios altos), un coeficiente de conversión  $X = 0.95$  ( $\alpha = 1.0526$ ) y un precio promedio relativo de 1.71 se resuelve la ecuación (14) aumentando el precio de la materia prima ( $t_2$  negativo), es decir, se maximiza la recaudación intertemporal por concepto de impuesto sobre la renta y por concepto de materia prima y al mismo tiempo se le da un beneficio al inversionista de obtener una TIR de 8%, de esta forma la recaudación por concepto de ISR es de 84 millones de dólares y por materias primas es de 3,547 millones de dólares, teniendo una recaudación acumulada de 3,631 millones de dólares, sin embargo, continuando con el mismo escenario, si el gobierno no estableciera un contrato como la ecuación (14) donde no interviniese modificando el precio de la materia prima y no asegurara al inversionista una  $TIR \geq 8\%$ , entonces  $t_2$  sería igual a cero (tabla 16), de esta forma se observa que al no haber intervención por parte del Estado la TIR de la empresa es de 27% y la recaudación por concepto de ISR es de 211 millones de dólares y por materias primas de 3,185 millones de dólares, con un monto agregado en recaudación de 3,396 millones de dólares; en la tabla 6 se observa que la ganancia total en recaudación al haber implementado un esquema como la ecuación (14) es de 235 millones de dólares, aunque por ISR existen pérdidas por 126 millones de dólares las cuales se ven compensadas por el aumento en recaudación por concepto de materias primas el cual es de un monto de 362 millones de dólares. De esta forma, bajo las características mencionadas y el escenario de precios altos u optimista el inversionista no tendría muchos incentivos a celebrar un contrato como la ecuación (14), sin embargo, a continuación se muestran los resultados del escenario de precios bajos o pesimista.

Es importante notar que entre mejor sea la tecnología, es decir, que el coeficiente de conversión (X) sea mayor, la flexibilidad para modificar el precio del petroquímico y llevar a cabo el proyecto es mucho más amplia, de esta forma se establecen incentivos a ocupar mejor tecnología para hacer más rentable el proyecto tanto para el gobierno como para el inversionista. Tanto el gobierno como el inversionista comparten el incentivo a tener mejor tecnología, el primero bajo el esquema de recaudación de la ecuación (14) o (19) necesita mejor tecnología para aumentar el precio de la materia prima al máximo, mientras que el segundo tiene incentivos a tener mejor tecnología para de esta forma negociar la mejor TIR que el gobierno se comprometa a otorgarle, pues no necesariamente la TIR que el gobierno ofrecerá será del 8%. También se observó en las tablas 2 y 3 que al inversionista le conviene tener mejor tecnología para de esta forma aspirar a tener mayores tasas de retorno. Por lo anterior se observa que al agente y al principal les conviene que exista una mejor tecnología en todos los casos.

**Tabla 6. Ganancia o pérdida en recaudación al haber modificado el precio de la materia prima (escenario 1)**

<b>P<sub>r</sub> = 1.52</b>	<b>Por ISR</b>	<b>Por Materia Prima</b>	<b>Total</b>
A = 1.0526	\$12,580,577.70	-\$35,944,507.71	-\$23,363,930.01
A = 1.0204	-\$25,810,446.69	\$73,744,133.40	\$47,933,686.71
A = 1.0101	-\$38,090,403.99	\$108,829,725.68	\$70,739,321.69
<b>P<sub>r</sub> = 1.71</b>	<b>Por ISR</b>	<b>Por Materia Prima</b>	<b>Total</b>
A = 1.0526	-\$126,764,621.94	\$362,184,634.10	\$235,420,012.17
A = 1.0204	-\$160,889,976.95	\$459,685,648.42	\$298,795,671.48
A = 1.0101	-\$171,805,494.54	\$490,872,841.56	\$319,067,347.01
<b>P<sub>r</sub> = 2.12</b>	<b>Por ISR</b>	<b>Por Materia Prima</b>	<b>Total</b>
A = 1.0526	-\$342,355,308.16	\$978,158,023.32	\$635,802,715.16
A = 1.0204	-\$369,880,948.29	\$1,056,802,709.40	\$686,921,761.11
A = 1.0101	-\$378,685,445.97	\$1,081,958,417.07	\$703,272,971.09

**Tabla 7. Resultados con precios bajos (escenario 2)**

$P_r$	1.52				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0.161312668	0.08	\$79,928,852.33	\$1,098,009,974.20	\$1,177,938,826.54
1.0204	0.134827805	0.08	\$79,928,852.33	\$1,098,009,974.20	\$1,177,938,826.54
1.0101	0.125999518	0.08	\$79,928,852.33	\$1,098,009,974.20	\$1,177,938,826.54
$P_r$	1.71				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0.056476752	0.08	\$79,928,852.33	\$1,098,009,974.20	\$1,177,938,826.54
1.0204	0.026681281	0.08	\$79,928,852.33	\$1,098,009,974.20	\$1,177,938,826.54
1.0101	0.016749457	0.08	\$79,928,852.33	\$1,098,009,974.20	\$1,177,938,826.54
$P_r$	2.12				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	-0.16974812	0.08	\$79,928,852.33	\$1,098,009,974.20	\$1,177,938,826.54
1.0204	-0.206687535	0.08	\$79,928,852.33	\$1,098,009,974.20	\$1,177,938,826.54
1.0101	-0.219000673	0.08	79928852.33	1098009974	\$1,177,938,826.54

**Tabla 8. Proyecto sin modificación del precio de la materia prima (escenario 2)**

$P_r$	1.52				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	---	---	---	---	---
1.0204	---	---	---	---	---
1.0101	---	---	---	---	---
$P_r$	1.71				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0	0.018397106	\$56,925,483.90	\$1,163,733,884.02	\$1,220,659,367.92
1.0204	0	0.052853517	\$69,394,061.23	\$1,128,109,377.37	\$1,197,503,438.59
1.0101	0	0.063305114	\$73,382,326.70	\$1,116,714,333.15	\$1,190,096,659.85
$P_r$	2.12				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0	0.208971113	135697093.5	938672142.3	\$1,074,369,235.80
1.0204	0	0.230844136	\$145,754,295.02	\$909,937,280.80	\$1,055,691,575.83
1.0101	0	0.237790557	\$148,971,245.01	\$900,745,995.14	\$1,049,717,240.14

En la tabla “7” se observan los resultados de resolver la ecuación (14) bajo el escenario de precios bajos. Por ejemplo, si se tiene una tecnología con un coeficiente de conversión de  $X = 0.98$  ( $\alpha = 1.0204$ ) y un precio promedio relativo de 1.71 el inversionista obtiene una TIR = 8%, el precio de la materia prima se ve subsidiado al poner una  $t_2 = 0.026$ , la recaudación por concepto de ISR y de materias primas es de 79 y 1,098 millones de dólares respectivamente, con un total de 1,177 millones de dólares. Sin embargo, si no se celebrase el contrato de la ecuación (14) y se dejará actuar a las fuerzas de mercado a través de los precios internacionales del petroquímico ( $t_2 = 0$ ) entonces el inversionista tendría una TIR del 5% y la recaudación del gobierno por ISR y por materias primas sería de 69 y 1,128 millones de dólares respectivamente, con una recaudación total de 1,197 millones de dólares; de esta forma existe una pérdida en recaudación por parte del gobierno al celebrar

el contrato de la ecuación (14) de 19 millones de dólares; aunque existe una ganancia en recaudación por concepto de ISR de 10 millones de dólares, la pérdida por concepto de venta de materias primas es mucho mayor, 30 millones de dólares, ver tabla “9”.

**Tabla 9. Ganancia o pérdida en recaudación al haber modificado el precio de la materia prima (escenario 2)**

$P_r = 1.52$	Por ISR	Por Materia Prima	Total
A = 1.0526	---	---	---
A = 1.0204	---	---	---
A = 1.0101	---	---	---
$P_r = 1.71$	Por ISR	Por Materia Prima	Total
A = 1.0526	\$23,003,368.44	-\$65,723,909.82	-\$42,720,541.38
A = 1.0204	\$10,534,791.11	-\$30,099,403.16	-\$19,564,612.06
A = 1.0101	\$6,546,525.63	-\$18,704,358.95	-\$12,157,833.32
$P_r = 2.12$	Por ISR	Por Materia Prima	Total
A = 1.0526	-\$55,768,241.17	\$159,337,831.90	\$103,569,590.74
A = 1.0204	-\$65,825,442.69	\$188,072,693.40	\$122,247,250.71
A = 1.0101	-\$69,042,392.67	\$197,263,979.07	\$128,221,586.39

**Tabla 10. Resultados con precios intermedios (escenario 3)**

$P_r$	1.52				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0.051751253	0.08	\$83,348,954.16	\$2,319,588,491.85	\$2,402,937,446.01
1.0204	0.021806556	0.08	\$83,348,954.16	\$2,319,588,491.85	\$2,402,937,446.01
1.0101	0.01182499	0.08	\$83,348,954.16	\$2,319,588,491.85	\$2,402,937,446.01
$P_r$	1.71				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	-0.06677984	0.08	\$83,348,954.16	\$2,319,588,491.85	\$2,402,937,446.01
1.0204	-0.100467624	0.08	\$83,348,954.16	\$2,319,588,491.85	\$2,402,937,446.01
1.0101	-0.111696886	0.08	\$83,348,954.16	\$2,319,588,491.85	\$2,402,937,446.01
$P_r$	2.12				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	-0.322557462	0.08	\$83,348,954.16	\$2,319,588,491.85	\$2,402,937,446.01
1.0204	-0.364322435	0.08	\$83,348,954.16	\$2,319,588,491.85	\$2,402,937,446.01
1.0101	-0.378244092	0.08	\$83,348,954.16	\$2,319,588,491.85	\$2,402,937,446.01

**Tabla 11. Proyecto sin modificación del precio de la materia prima (escenario 3)**

$P_r$	1.52				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	---	---	---	---	---
1.0204	0	0.041435314	\$65,250,506.48	\$2,371,298,342.37	\$2,436,548,848.84
1.0101	0	0.059814723	\$73,633,884.46	\$2,347,345,833.86	\$2,420,979,718.31
$P_r$	1.71				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0	0.173791089	\$134,170,698.07	\$2,174,383,509.26	\$2,308,554,207.32
1.0204	0	0.212944008	\$157,467,664.24	\$2,107,820,748.77	\$2,265,288,413.01
1.0101	0	0.225159833	\$164,919,555.77	\$2,086,529,630.10	\$2,251,449,185.87
$P_r$	2.12				
$\alpha$	$t_2 =$	TIR =	$\Sigma G_{ISR} =$	$\Sigma G_{Materias Primas} =$	$\Sigma G_{Total} =$
1.0526	0	0.405741195	\$281,351,845.98	\$1,753,865,943.79	<b>\$2,035,217,789.77</b>
1.0204	0	0.433877328	\$300,143,266.81	\$1,700,176,170.00	<b>\$2,000,319,436.81</b>
1.0101	0	0.442844329	\$306,153,990.64	\$1,683,002,673.33	<b>\$1,989,156,663.97</b>

En el escenario “1” se observa que a quién le conviene celebrar el contrato de la ecuación (14) es al gobierno, ya que al existir precios altos existe una estructura que le permite recaudar mucho más que si no se celebrase el contrato. En el escenario “2” a quién más le conviene celebrar el contrato es al inversionista, ya que de esta forma hace rentable al proyecto inclusive en casos en donde no había posibilidades de invertir (ejemplo: el caso donde el precio promedio relativo era de 1.52). Sin embargo, también existen casos intermedios o precios intermedios a los estimados para los casos pesimistas y optimistas y esto se pueden obtener a través de la ecuación (15). En nuestro caso simplemente se decidió asignarle una probabilidad de 0.5 al escenario optimista y 0.5 de probabilidad al pesimista (ecuación 19), de esta forma se pueden obtener una gama de resultados con sólo variar las probabilidades de estar en un estado o en otro. Los resultados se observan en las tablas 10, 11 y 12. Por ejemplo, para una tecnología con un coeficiente de conversión  $X = 0.99$  ( $\alpha = 1.0101$ ) y un precio promedio relativo de 1.71, entonces al resolver el contrato representado en la ecuación (19) el inversionista obtendría una TIR de 8%, el gobierno aumentaría el precio del petroquímico pues  $t_2$  sería negativo ( $t_2 = -0.111$ ), la recaudación por concepto de ISR y por materias primas sería de 83 y 2,319 millones de dólares respectivamente, la recaudación total sería de 2,402 millones de dólares. Pero si no se celebrara el contrato de la ecuación (15), (tabla 11), entonces el inversionista obtendría una TIR = 22 %, y el gobierno obtendría una recaudación en términos de ISR y de materias primas de 164 y 2,086 millones de dólares, de esta forma la recaudación total sería de 2,251. Al comparar estos resultados (tabla 12) se observa que al gobierno le conviene celebrar un contrato bajo estas características ya que aumentaría sus ganancias aunque al inversionista se le aseguraría una ganancia por debajo de lo que ganaría si no celebrase dicho contrato.

**Tabla 12. Ganancia o pérdida en recaudación al haber modificado el precio de la materia prima (escenario 3)**

<b>P<sub>r</sub> = 1.52</b>	<b>Por ISR</b>	<b>Por Materia Prima</b>	<b>Total</b>
A = 1.0526	---	---	---
A = 1.0204	\$18,098,447.68	-\$51,709,850.52	-\$33,611,402.84
A = 1.0101	\$9,715,069.70	-\$27,757,342.01	-\$18,042,272.30
<b>P<sub>r</sub> = 1.71</b>	<b>Por ISR</b>	<b>Por Materia Prima</b>	<b>Total</b>
A = 1.0526	-\$50,821,743.91	\$145,204,982.59	\$94,383,238.69
A = 1.0204	-\$74,118,710.08	\$211,767,743.08	\$137,649,033.00
A = 1.0101	-\$81,570,601.61	\$233,058,861.75	\$151,488,260.14
<b>P<sub>r</sub> = 2.12</b>	<b>Por ISR</b>	<b>Por Materia Prima</b>	<b>Total</b>
A = 1.0526	-\$198,002,891.82	\$565,722,548.06	\$367,719,656.24
A = 1.0204	-\$216,794,312.65	\$619,412,321.85	\$402,618,009.20
A = 1.0101	-\$222,805,036.48	\$636,585,818.52	\$413,780,782.04

Después de analizar cada uno de los escenarios en algunos casos el proyecto no será rentable sino se celebra un contrato como el de la ecuación (14) o (15), esencialmente cuando existan precios bajos (caso pesimista) del producto petroquímico o cuando exista una tecnología obsoleta o baja. En otros escenarios el subsidiar al proyecto petroquímico (dar un valor positivo a “ $t_2$ ”) provocará pérdida en la recaudación por concepto de materias primas a pesar de haber ganancia por ISR, de esta forma el efecto neto será de pérdida.

En otros escenarios el aumentar el precio del petroquímico ( $t_2$  tenga signo negativo) provocará que se pierda en materia de recaudación por concepto de ISR, empero, existirá ganancia vía materias primas, mostrándose un efecto neto positivo en términos de recaudación.

La forma en que se estructuró la evaluación de este proyecto indica que la recaudación neta vía materias primas y vía ISR será positiva siempre que se aumente el precio de la materia prima, sin embargo, la idea es que el gobierno ponga una tasa impositiva de tal forma que incentive a la inversión en este ramo. De tal forma que el esquema le puede favorecer o perjudicar al gobierno dependiendo de las condiciones del mercado y lo mismo ocurre para el inversionista. La clave de la negociación será el precio de la materia prima de acuerdo a la tecnología implementada por parte del inversionista. El mecanismo de control de este tipo de contratos puede ser complicado, no obstante, a continuación se presenta una forma de controlar al proyecto.

#### **CONTROL DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO**

Después de analizar lo anterior se propuso el siguiente esquema, de tal forma que es una forma de evaluar y controlar la TIR del proyecto, es decir, el gobierno puede comprometerse a vigilar el desenvolvimiento del proyecto vía modificación de “ $t_2$ ”, en aras de mantener una  $TIR = 8\%$  durante el periodo de vida del proyecto. De esta manera el proyecto se realiza a través del control de “ $t_{2,0}$ ” en cada periodo, utilizando las expectativas del precio durante el periodo a evaluar de tal forma que se cumpla la siguiente condición:

$$(20) \quad (1-t_1) \left( E[P]_{\theta} V_{\theta} - \frac{\alpha E[P]_{\theta} V_{\theta}}{\frac{P_r}{(1-t_2, \theta)}} - \beta I_0 - \gamma E[P]_{\theta} V_{\theta} \right) \rho_{\theta}^{TIR} - \frac{I_0}{n} = 0$$

*s.a. : TIR = 8%*

Donde “n” son los periodos en que se divide la duración del proyecto petroquímico. Cabe hacer notar que el control de la TIR a través de “t<sub>2</sub>” será mucho mejor entre más grande sea “n” o entre mejor tecnología exista. De esta forma se espera que el gobierno recaude más cuando existan periodos de precios altos, y tendrá pérdidas cuando existan periodos de precios bajos. A continuación se muestra una senda en donde se evalúa que se cumpla el contrato de la ecuación (20) vía la variable de control “t<sub>2</sub>” (modificación del precio de la materia prima) durante 15 periodos.

**Tabla 13. Modificación del precio de la materia prima de acuerdo al escenario 3**

P <sub>r</sub>	1.52	P <sub>r</sub>	1.71	P <sub>r</sub>	2.12
X	0.95	X	0.98	X	0.99
Periodo	t <sub>2</sub> =	Periodo	t <sub>2</sub> =	Periodo	t <sub>2</sub> =
1	0.019752904	1	-0.137602551	1	-0.424752496
2	0.028782364	2	-0.127123625	2	-0.411628515
3	0.015988753	3	-0.141970948	3	-0.43022355
4	0.022384028	4	-0.134549062	4	-0.420928256
5	0.029394711	5	-0.12641298	5	-0.41073849
6	0.037121684	6	-0.117445624	6	-0.399507624
7	0.045717533	7	-0.107469916	7	-0.387013879
8	0.055398238	8	-0.096235203	8	-0.372943336
9	0.066229356	9	-0.083665405	9	-0.357200712
10	0.078323679	10	-0.069629625	10	-0.339622065
11	0.091858552	11	-0.053922049	11	-0.319949634
12	0.107524513	12	-0.035741289	12	-0.297179745
13	0.125720414	13	-0.014624467	13	-0.270732684
14	0.146100602	14	0.009027278	14	-0.241110842
15	0.168925735	15	0.035516445	15	-0.207935366

Los cálculos anteriores (tabla 13) se realizaron dando una probabilidad al precio del petroquímico de estar en un estado alto de 0.5 y dando una probabilidad de estar en el estado bajo de 0.5, sin embargo, esto es sólo una ejemplificación de la manera de realizar el cálculo ya que se entiende que durante el desarrollo del proyecto se incorporará información en materia de precios y costos lo cual modificará a los parámetros de la ecuación (20).

## **VI.- REFLEXIONES PARA UNA FUTURA POLÍTICA INDUSTRIAL EN EL SECTOR**

Considerando que el proceso de integración es indispensable para la supervivencia y el despegue del sector petroquímico nacional y como parte del desarrollo de una política industrial en México, es necesario asumir la responsabilidad de adoptar un modelo de operación que integre la totalidad de los procesos y recursos con los que cuentan las empresas privadas y nacionales. México con base en sus necesidades puede crear todo un plan estratégico el cual se adapte de forma dinámica al ambiente que prevalezca, este plan sería un gran paso como impulso y fomento a la industria petroquímica nacional<sup>41</sup>. La industria química juega un papel que se considera estratégico en muchos países de primer mundo y es por esta razón que se ha considerado a la industria petroquímica un posible motor de desarrollo, lo cual sólo es posible bajo ciertas ventajas competitivas ya mencionadas en capítulos anteriores y que la nación mexicana posee.

Antes de continuar con las reflexiones del proceso de desarrollo del sector petroquímico nacional es importante observar que el alcance de este trabajo sólo permite analizar al sector ya mencionado, por lo cual éste sólo es ilustrativo de algunos de los intereses de la economía mexicana, pero no abarca todos. Sin embargo, el análisis de diversas características del sector petroquímico ayudará a plantear mejores alternativas dentro del marco estructural de una probable política industrial de México.

Se ha sugerido el siguiente mecanismo de desarrollo e integración para el sector petroquímico:

- 1) Adoptar un esquema de organización enfocado al mercado, con criterios de rentabilidad, es decir, apoyar en mayor medida a las áreas que tengan mejores oportunidades de ganancias.
- 2) Diversificar inversiones en proyectos de alto y bajo riesgo. Dentro de las inversiones de alto riesgo se pueden encontrar no sólo la construcción de plantas nuevas sino también la inversión en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías nacionales.
- 3) Disponer de capital humano orientado a resultados, con cultura de negocios y apoyado en el uso intensivo de las tecnologías de la información, a fin de mejorar la eficiencia de la gestión.
- 4) Promover y aplicar políticas y estrategias en un marco normativo adecuado para su gestión, en condiciones de competencia.
- 5) Gestionar la suscripción de un convenio de desempeño. Este y el punto anterior son instrumentos que permiten responder con flexibilidad a los requerimientos del mercado, incluyendo la participación privada y del estado en proyectos de ampliación y mejora de las plantas comerciales, de integración y tecnológicas, a fin

---

<sup>41</sup> La industria química de Estados Unidos tiene una visión de desarrollo sustentable para el 2020 en donde bajo el auspicio de la Casa Blanca (1994) participan las grandes compañías químicas de E.U. y las asociaciones de ingeniería química y de químicos de E.U. [U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. Industrial Technologies Program]

de permanecer y/o establecerse con participación en los mercados nacionales y mundiales.

- 6) Asegurar el suministro de materia prima a largo plazo en condiciones favorables precio – volumen.
- 7) Optimizar los procesos y mecanismos de coordinación en el interior de la empresa como con los proveedores y clientes, para lograr la excelencia operacional en la cadena de valor insumos-planeación- producción-ventas.
- 8) Implementar alta tecnología al proceso de compra y venta de productos, por ejemplo, crear una red de comercio vía electrónica como elemento clave para la generación de valor, lo que propiciaría la reducción de costos y gastos operativos tanto a las empresas como a los clientes y proveedores.
- 9) Promover la creación de corredores industriales o clusters, incentivando a los gobiernos locales y a la iniciativa privada nacional y extranjera. En México los lugares más importantes de producción de petroquímicos se encuentran localizados en la zona de Coatzacoalcos, Veracruz, en la zona de Altamira, Tamaulipas y en el Estado de México<sup>42</sup>.
- 10) Integración de cadenas de producción (networks).<sup>43</sup>

Este proceso de integración implica transformar a las compañías que están basadas en activos en una estructura sustentada en el conocimiento, aplicando las mejores tecnologías disponibles y aprovechando al máximo el capital humano.

Otro punto importante es el mercado tecnológico del sector petroquímico, ya que a nivel mundial este mercado está controlado por unas cuantas empresas licenciadoras. Aún más, en algunas áreas críticas de la petroquímica como la de los polímeros (polietileno, polipropileno, etc.), las empresas productoras son las que poseen la tecnología más avanzada y además tienen una gran influencia en el control del mercado, pues las políticas de algunos de ellos son no licenciar tecnología, sino vender productos terminados, por lo que el acceso a sus productos tecnológicos es prácticamente imposible. En otros casos, los licenciadores venden su tecnología de proceso asociada a tecnología de catalizadores, los cuales son, en muchas ocasiones, la parte central del negocio tecnológico<sup>44</sup>. Dado que en petroquímica las especificaciones de los productos son generalmente muy estrictas, los productos tecnológicos de los licenciadores se orientan a garantizar estas especificaciones, es decir, tienen un enfoque más de tecnología de producto, por lo que la tecnología de procesos y catalizadores es un medio para llegar a dichas especificaciones.

A grandes rasgos éstas son algunas reflexiones del proceso de desarrollo-integración de la industria petroquímica mexicana, sin embargo, algo muy importante y que se ha analizado

---

<sup>42</sup> En estas zonas se propone asentar institutos de investigación en materia petroquímica.

<sup>43</sup> En este punto se considera importante plantear la posibilidad de la integración de México a un network mundial, teniendo en cuenta los pro y los contra de la cercanía del cluster petroquímico de Houston, Texas, el cual es el más grande del mundo.

<sup>44</sup> Se ha considerado que para todo tamaño de empresa petroquímica es esencial establecer la función tecnológica dentro de la empresa como una nueva actividad de importancia estratégica para la modernización que se necesita actualmente, es aquí donde entidades como el Instituto Mexicano del Petróleo pueden jugar un papel sumamente importante en la elaboración y consolidación de un crecimiento industrial en el sector petroquímico mexicano.

en este trabajo, es el papel de las materias primas de la industria petroquímica, ya que éstas pueden ser utilizadas como energéticos, lo cual en cierta medida se contrapone al desarrollo del sector petroquímico.

Los puntos que se han considerado importantes para establecer prioridades en materia energética y en materia de desarrollo de la industria petroquímica mexicana son los siguientes:

- 1) La energía es primordial para el crecimiento económico de México.
- 2) El petróleo y el gas natural permanecerán como las fuentes primarias de energía hasta mediados de siglo<sup>45</sup>.
- 3) La alta penetración de automóviles debido al crecimiento del PIB demandará combustibles para motores lo cual se verá compensado en un aumento en la eficiencia de los mismos.
- 4) Los subsidios que el gobierno hace a las fuentes de energía renovables continuarán siendo pequeños.
- 5) El suministro de energía requiere:
  - a. Acceso a fuentes descubiertas.
  - b. Desarrollo económico de fuentes no convencionales.
  - c. Avances continuos en tecnología.
  - d. Financiamiento adecuado.
- 6) La investigación primaria o básica aumentará con el fin de diversificar el portafolio de fuentes de energía.
- 7) Una de las áreas de mayor inversión en el mundo en pro de tecnologías limpias es la que compete al estudio del almacenamiento de hidrógeno y de las celdas de combustible<sup>46</sup>.
- 8) Transición del uso de combustibles fósiles al uso de otras fuentes de energía, principalmente fuentes de energía renovables<sup>47</sup>.
- 9) El periodo de vida de los hidrocarburos nos adelanta una fuerte lucha por el control del petróleo para usarse, en mayor medida, como combustible y a su vez nos indica que el desarrollo de nuevas tecnologías como fuentes primarias de energía permitiría que el petróleo pueda ser usado casi exclusivamente como materia prima para la industria petroquímica.

Las consideraciones energéticas aquí expuestas van muy de la mano con el fomento de la IPQ, ya que como en su momento se comentó existe una alineación de México con Estados Unidos y Canadá en materia energética lo cual le resta grados de libertad a la elaboración de una política de industrial.

---

<sup>45</sup> ExxonMobil Corporate Planning: Economy and energy outlook through 2020.

<sup>46</sup> 2002 Chevron Texaco Corporate Responsibility Report: integrity and learning in an evolving World.

<sup>47</sup> Existe una fuerte tendencia al desarrollo de una economía del hidrógeno como visión de largo plazo.

“El equilibrio energético de la región de América del Norte evidencia grandes desafíos a mediano plazo en cuanto al suministro de petróleo y gas natural; en esta situación, México no podrá escapar a una batalla energética que involucra a los tres países<sup>48</sup>. A pesar de sus deficiencias en cuanto a la homogenización institucional, organizacional, etc., – guste o no – esta región está definitivamente vinculada. El reto para México, en esta dinámica será más bien encontrar las modalidades que le permitan sacar mayor y mejor provecho de esta situación. En este marco, armonizar leyes y reglamentos para atraer nuevas inversiones destinadas a la infraestructura necesaria para sostener tales flujos sería uno de los mayores desafíos”<sup>49</sup>.

Por lo anterior existen consideraciones energéticas que acotan la implementación de una política de fomento de la IPQ mexicana.

Así mismo el gobierno mexicano tiene la facultad de realizar una política industrial en el sector petroquímico nacional a través de PEMEX, de la Secretaría de Hacienda y de la SENER, entre otras instancias. Es deber del Estado impulsar sectores de interés en donde se tenga una ventaja comparativa, el sector petrolero ha sido históricamente el gran motor de la economía mexicana, y es darle mayor valor agregado a esta cadena el impulsar a la industria petroquímica nacional.

El apoyar al sector petroquímico es al mismo tiempo incentivar la implementación de políticas que vayan dirigidas al desarrollo sustentable de nuevos productos y tecnologías petroquímicas pues es un sector muy dinámico en materia tecnológica; este desarrollo científico-tecnológico debe ser nacional y encabezado por el Estado y/o por un grupo de industrias mexicanas, pues es una constante el que las grandes empresas transnacionales sólo inviertan en I&D en sus propios países.

De esta forma si el gobierno apoya el desarrollo del sector petroquímico mexicano se encontrará en la disyuntiva de la selección de la ruta tecnológica en consideración a la disponibilidad de materias primas con base en los recursos energéticos e hidrocarburos disponibles por PEMEX. Por ejemplo, Petróleos Mexicanos tiene las opciones de decidir aprovechar al máximo el etano y las naftas para la producción de olefinas (para el pool de gasolinas) y aromáticos o utilizar el etano y las naftas para la producción de petroquímicos básicos, es decir, tienen opciones de procesamiento para la industria de la refinación y para la industria petroquímica.

---

<sup>48</sup> E.U., Canadá y México.

<sup>49</sup> Rousseau, Isabelle. *¿Hacia una integración de los mercados petroleros en América? Mercado, seguridad y soberanía nacional: las dinámicas contradictorias de la política energética mexicana (hidrocarburos) en el marco de la integración del norte de América*. El Colegio de México, 2006.

## VII.- CONCLUSIONES

Durante la década de 1990 se han observado diversos cambios institucionales y legales en México en materia de hidrocarburos, estos cambios han modificado de manera profunda las condiciones de inversión y desenvolvimiento de la IPQ.

Durante este trabajo se probó la existencia de cambio estructural en la producción petroquímica agregada durante la década de 1990. La tendencia creciente de la producción petroquímica mexicana se vio cortada a mediados de la década de 1990, para cambiar hacia una tendencia a la baja. Se ha pensado que la causa principal de este rompimiento se debe al mal manejo de las políticas implementadas en materia de hidrocarburos a través del Estado.

A través de los esquemas planteados – ecuación (14) y (15) – se observa que en ciertas condiciones – esencialmente cuando el precio internacional del petroquímico es bajo (caso pesimista) – si se sacrifica ingreso por concepto de recaudación de materias primas entonces se incrementará el ingreso por ISR – aunque el efecto neto no en todos los casos es positivo – y se incentivará a que se invierta en proyectos petroquímicos de esta índole. Además si se encuentra un escenario de precios altos (caso optimista) la recaudación inclusive aumenta tanto por ISR como por materias primas. Bajos los esquemas planteados existen escenarios de precios intermedios al pesimista y al optimista, estos pueden ser de mucha utilidad para enmarcar escenarios más reales.

Al mismo tiempo, entre mejor sea la tecnología a implementar mejores condiciones de éxito tendrá el proyecto, de esta manera tanto al inversionista como al gobierno les convendrá desarrollar, fomentar y/o utilizar una mejor tecnología.

El estímulo a la industria se logrará vía la negociación entre el inversionista y el gobierno, en nuestro ejemplo se realiza a través de la variable tasa interna de retorno (TIR) como medida de la rentabilidad real del proyecto; esta negociación debería estar vinculada con la volatilidad de los precios de las materias primas y del producto final y con la tecnología a implementar, ya que como se ha visto, entre mejor sea la tecnología, mayor será la flexibilidad para gravar e incentivar al proyecto y de esta forma cumplir la TIR acordada.

El control del proyecto dependerá de como se establezca el contrato, sin embargo entre mayor control del proyecto exista, mejores condiciones de recaudación, lo cual repercute en más incentivos para esta clase de contratos (ecuaciones 14 y 15). Los esquemas de control pueden ser diversos, todo dependerá de la estructura en que sea planteado el desarrollo del proyecto.

Por lo anterior, este trabajo sirve como ejemplo para que exista una política fiscal a través de la variable de control “ $t_2$ ” (precio de la materia prima) sin costos finales y se fomente el desarrollo la IPQ mexicana.

## VIII.- APENDICES

**Tabla 14. Inversión en I&D de algunas empresas petroquímicas de EUA**

(millones de dólares)						
Año	Air Products & Chemicals	Dow Chemical	Dupont	Hercules	Monsanto	Rohm & Haas
1972	7	105	265	24	92	25
1973	8	118	286	25	82	32
1974	11	149	344	30	87	39
1975	16	167	336	30	116	45
1976	19	188	353	35	114	43
1977	24	203	367	37	132	45
1978	23	232	461	40	144	49
1979	24	269	509	50	161	54
1980	30	314	591	57	208	67
1981	32	404	718	65	233	77
1982	37	460	879	74	264	92
1983	40	492	966	74	290	100
1984	44	507	1,097	72	370	109
1985	51	547	1,144	76	470	124
1986	61	605	1,156	71	596	133
1987	57	670	1,223	74	615	142
1988	72	772	1,319	74	648	156
1989	71	873	1,387	79	598	175
1990	72	1,136	1,428	92	612	178
1991	80	1,159	1,298	86	627	183
1992	85	1,289	1,277	70	651	199
1993	92	1,256	1,132	76	626	205
1994	97	1,261	1,047	65	609	201
1995	103	808	1,067	59	658	194
1996	114	761	1,032	56	728	187
1997	114	785	1,116	53	939	200
1998	112	807	1,308	61	1,263	207
1999	123	845	1,617	85	695	236
2000	124	892	1,776	80	588	259
2001	123	1,072	1,588	67	560	230
2002	121	1,066	1,264	42	527	260
2003	121	981	1,349	39	510	238
2004	127	1,022	1,333	43	511	265

Fuente: elaboración propia con datos de C&EN<sup>50</sup>.

<sup>50</sup> Chemical and Engineering News: *Facts & figures for the chemical industry*, varios números.

**Tabla 15. Ventas de algunas empresas petroquímicas de EUA**

Año	(millones de dólares)					
	Air Products & Chemicals	Dow Chemical	Dupont	Hercules	Monsanto	Rohm & Haas
1972	351	2,404	4,366	932	2,225	619
1973	399	3,068	5,964	1,155	2,648	789
1974	563	4,938	6,910	1,525	3,498	1,022
1975	699	4,888	7,222	1,413	3,625	1,046
1976	818	5,652	8,361	1,596	4,270	1,053
1977	947	6,234	9,435	1,698	4,595	1,124
1978	1,039	6,888	10,584	1,946	5,019	1,254
1979	1,230	9,255	12,572	2,345	6,193	1,590
1980	1,421	10,626	13,652	2,485	6,574	1,725
1981	1,570	11,873	22,810	2,718	6,948	1,885
1982	1,569	10,618	33,331	2,469	6,325	1,828
1983	1,634	10,951	35,378	2,629	6,299	1,876
1984	1,735	11,418	35,915	2,571	6,691	2,042
1985	1,830	11,537	29,483	2,587	6,747	2,051
1986	1,982	11,113	27,148	2,615	6,879	2,067
1987	2,132	13,377	30,468	2,693	7,639	2,203
1988	2,432	16,682	32,917	2,802	8,293	2,535
1989	2,642	17,600	35,534	3,092	8,681	2,661
1990	2,895	19,773	40,047	3,200	8,995	2,824
1991	2,931	18,807	38,695	2,929	8,864	2,763
1992	3,217	18,971	37,799	2,865	7,763	3,063
1993	3,328	18,060	37,098	2,773	7,902	3,269
1994	3,485	20,015	39,333	2,821	8,272	3,534
1995	3,865	20,200	42,163	2,427	8,962	3,884
1996	4,008	20,053	43,810	2,060	9,262	3,982
1997	4,638	20,018	45,079	1,866	7,514	3,999
1998	4,919	18,441	24,767	2,145	8,648	3,720
1999	5,020	18,929	26,918	3,248	9,146	5,339
2000	5,467	23,008	28,268	3,152	5,493	6,879
2001	5,717	27,805	24,726	2,620	5,462	5,666
2002	5,401	27,609	24,006	1,705	4,673	5,727
2003	6,297	32,632	26,996	1,846	4,936	6,421
2004	7,411	40,161	27,340	1,997	5,457	7,300

Fuente: elaboración propia con datos de C&EN, varios números.

## SERIES

El método de estimación que se utiliza en este trabajo es el de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Todas las series que se utilizan fueron desestacionalizadas para ir cumpliendo con los supuestos de MCO. Todas las series utilizadas son de periodicidad mensual a excepción del Producto Interno Bruto. Los datos son 206 y comprenden de enero de 1990 a febrero de 2006.

Todas las series se obtuvieron el 5 de mayo de 2006 a través de internet en las páginas correspondientes.

*Producción total de petroquímicos ( $Y_{PQ}$ )*

Esta serie se obtuvo del Banco de Información Económica (BIE) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), las unidades están en miles de toneladas producidas mensualmente.

*Exportaciones petroquímicas ( $X_{PQ}$ )*

Esta serie es el agregado de las exportaciones de productos petroquímicos. Se obtuvo del BIE, INEGI, las unidades son millones de dólares y miles de toneladas según se especifique.

*Importaciones petroquímicas ( $M_{PQ}$ )*

Esta serie es el agregado de las importaciones de productos petroquímicos. Se obtuvo del BIE, INEGI, las unidades son millones de dólares y miles de toneladas según se especifique.

*Precio del petróleo ( $P_P$ )*

La serie se obtuvo de la Energy Information Administration de E.U. (revisión mensual de diciembre de 2005). Las unidades son dólares por barril.

*Precio del Gas Natural ( $P_{GN}$ )*

La serie fue tomada de la página de la Energy Information Administration de E.U. (revisión mensual de diciembre de 2005). Las unidades son dólares por miles de pies cúbicos.

*Índice de precios al consumidor de México ( $P$ )*

Esta serie se obtuvo del BIE, INEGI. Su base es la 2da quincena de junio 2002.

*Índice de precios al consumidor de E.U. ( $P^*$ )*

El nivel de precios de E.U. que se utilizó es un índice que promedia a las ciudades americanas, tiene como base al periodo de 1982-1984 y se obtuvo de

*Inflación de México ( $\pi_{MEX}$ )*

La inflación de México de un periodo a otro se calculo de la siguiente forma:

$$\pi_{MEX,t} = \frac{P_t}{P_{t-1}} - 1$$

*Inflación de E.U. ( $\pi_{E.U.}$ )*

La inflación de E.U. de un periodo a otro se calculo de la siguiente forma:

$$\pi_{E.U.,t} = \frac{P^*_t}{P^*_{t-1}} - 1$$

*Tasa de interés nominal de México ( $i_{MEX}$ )*

Esta serie se obtuvo del Banco de México, la serie que se utilizó fue la de CETES a 91 días.

*Tasa de interés real de México ( $r_{MEX}$ )*

Esta serie se calculo de la siguiente forma:

$$r_{MEX} = i_{MEX} - \pi_{MEX}$$

*Tasa de interés nominal de E.U. ( $i_{EU}$ )*

Esta serie se obtuvo del Federal Reserve Board de E.U. y es la serie “U.S. government securities/Treasury bills (secondary market) a 3 meses.

*Tasa de interés real de E.U. ( $r_{EU}$ )*

Esta serie se calculó de la siguiente forma:

$$r_{EU} = i_{EU} - \pi_{EU}$$

*Tipo de cambio nominal ( $e$ )*

La serie del tipo de cambio nominal del peso respecto al dólar (bancario) fue obtenida del BIE, INEGI. Las unidades son peso/dólar.

*Tipo de Cambio Real ( $\varepsilon$ )*

Serie del tipo de cambio real calculado como:

$$\varepsilon = e \frac{P^*}{P}$$

*Ventas internas de petroquímicos en México ( $V_{PQ}$ )*

La serie original (VPQ') se obtuvo del BIE, INEGI pero al encontrarse en millones de pesos a precios corrientes la serie se convirtió a millones de dólares de la siguiente forma:

$$V_{PP} = \frac{V'_{PP}}{e}$$

donde:

$V'_{PQ}$ : ventas internas de petroquímicos en millones de pesos a precios corrientes.

$V_{PQ}$ : ventas internas de petroquímicos en millones de dólares.

*Producto Interno Bruto del sector químico ( $PIB_{QUIM}$ )*

Esta serie es el producto interno bruto trimestral a precios corrientes por división de la industria manufacturera correspondiente al sector cinco: *sustancias químicas, derivados del petróleo, productos de caucho y plástico*. Originalmente se encuentra en miles de pesos a pesos corrientes. La serie se obtuvo del BIE, INEGI. Cada dato de la serie al ser el agregado de los tres meses se consideró dividir el valor del PIB del trimestre en 3 para de esta forma obtener los valores mensuales. La serie original tiene como unidades pesos a precios corrientes y se transformo a dólares dividiéndola por el tipo de cambio nominal. Las unidades finales de la serie son millones de dólares.

*Apertura comercial ( $open$ )*

La apertura comercial se calculó a través del siguiente índice:

$$open = \frac{X_{PP} + M_{PP}}{Y_{PP}}$$

Entonces este índice mide el comercio total petroquímico con relación a la producción petroquímica agregada.

*Gastos diversos efectuados en México en la industria química (G<sub>Q</sub>)*

El total de los gastos derivados de la industria química de manufactura de exportación se consideran como una inversión, ya que este gasto se realiza en México. La serie se obtuvo del BIE, INEGI y tiene unidades originales de miles de pesos, no obstante esta se convirtió a dólares dividiéndola por el tipo de cambio nominal (e).

**MODELOS DE CAMBIO ESTRUCTURAL**

**Tabla 16. Prueba de causalidad de Granger de V<sub>PQ</sub> y Y<sub>PQ</sub>**

Muestra: 1990M01 2006M02			
Retrasos: 13			
Hipótesis nula:	Obs	Estadístico F	Probabilidad
V <sub>PQ</sub> no causa en el sentido de Granger a Y <sub>PQ</sub>	181	1.32592	0.20333
Y <sub>PQ</sub> no causa en el sentido de Granger a V <sub>PQ</sub>		1.69917	0.06602

Analizando la prueba de causalidad de Granger con trece rezagos se observa que la hipótesis nula “V<sub>PQ</sub> no causa en el sentido de Granger a Y<sub>PQ</sub>” *no se rechaza*.

La segunda hipótesis nula: “Y<sub>PQ</sub> no causa en el sentido de Granger a V<sub>PQ</sub>” *se rechaza*.

Por lo tanto al rechazar la segunda hipótesis nula se implica que “Y<sub>PQ</sub>” causa en el sentido de Granger a “V<sub>PQ</sub>”.

$$V_{PP} \approx \beta Y_{PP}$$

**Tabla 17. Estimación de V<sub>PQ</sub> = β<sub>0</sub> + β<sub>1</sub>Y<sub>PQ</sub> por MCO**

Variable dependiente: V <sub>PQ</sub>				
Método: Mínimos cuadrados ordinarios				
Muestra: 1990:01 2006:02				
Observaciones incluidas: 194				
Variable	Coefficiente	Error estándar	Estadístico t	Probabilidad
C	-1.443325	0.192446	-7.499885	0.0000
Y <sub>PQ</sub>	1.048871	0.027163	38.61447	0.0000
R cuadrada	0.885923	Mean dependent var		5.982506
R cuadrada ajustada	0.885329	E.E. variable dependiente		0.301139
Error estándar (E.E.) regresión	0.101975	Criterio de Akaike		-1.717920
Suma de los residuales al cuadrado	1.996593	Criterio de Schwarz		-1.684231
Log máxima verosimilitud	168.6383	Estadístico F		1491.078
Estadístico Durbin-Watson	0.893574	Prob(Estadístico F)		0.000000

**Tabla 18. Pruebas de raíz unitaria para “Y<sub>PQ</sub>”**

Hipótesis nula: Y <sub>PQ</sub> tiene raíz unitaria							
Prueba:	Dickey-Fuller aumentada	Dickey-Fuller aumentada	Dickey-Fuller aumentada		Phillips-Perron	Phillips-Perron	Phillips-Perron
Variable exógena	Ninguna	Constante	Constante, Tendencia Lineal		Ninguna	Constante	Constante, Tendencia Lineal
1% nivel de significancia	No se rechaza	No se rechaza	No se rechaza		No se rechaza	No se rechaza	Se rechaza
5% nivel	No se rechaza	No se rechaza	No se rechaza		No se rechaza	No se rechaza	Se rechaza
10% nivel	No se rechaza	No se rechaza	No se rechaza		No se rechaza	No se rechaza	Se rechaza

**Tabla 19. Pruebas para ver estacionalidad de “Y<sub>PQ</sub>”**

Hipótesis nula: Y <sub>PQ</sub> es estacionaria		
Prueba:	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin
Variable exógena	Constante	Constante, Tendencia Lineal
1% nivel de significancia	Se rechaza	Se rechaza
5% nivel	Se rechaza	Se rechaza
10% nivel	Se rechaza	Se rechaza

**Tabla 20. Pruebas de raíz unitaria para “V<sub>PQ</sub>”**

Hipótesis nula: V <sub>PQ</sub> tiene raíz unitaria							
Prueba:	Dickey-Fuller aumentada	Dickey-Fuller aumentada	Dickey-Fuller aumentada		Phillips-Perron	Phillips-Perron	Phillips-Perron
Variable exógena	Ninguna	Constante	Constante, Tendencia Lineal		Ninguna	Constante	Constante, Tendencia Lineal
1% nivel de significancia	No se rechaza	No se rechaza	No se rechaza		No se rechaza	No se rechaza	Se rechaza
5% nivel	No se rechaza	No se rechaza	Se rechaza		No se rechaza	No se rechaza	Se rechaza
10% nivel	No se rechaza	No se rechaza	Se rechaza		No se rechaza	No se rechaza	Se rechaza

**Tabla 21. Pruebas para ver estacionalidad de “V<sub>PQ</sub>”**

Hipótesis nula: V <sub>PQ</sub> es estacionaria		
Prueba:	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin
Variable Exógena	Constante	Constante, Tendencia Lineal
1% nivel de significancia	Se rechaza	No se rechaza
5% nivel	Se rechaza	Se rechaza
10% nivel	Se rechaza	Se rechaza

**Tabla 22. Prueba de selección del orden del VAR**

Variables endógenas: V <sub>PQ</sub> , Y <sub>PQ</sub> Variables exógenas: C Muestra: 1990M01 2006M02							
Retraso	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ	
0	140.1889	NA	0.000745	-1.526949	-1.491607	-1.512621	
1	406.4219	523.6406	4.11E-05	-4.424551	-4.318524	-4.381566	
2	420.5442	27.46425	3.67E-05	-4.536399	-4.359687	-4.464756	
3	434.3975	26.63513	3.29E-05	-4.645276	-4.397878*	-4.544976	
4	441.9217	14.30015	3.17E-05	-4.684218	-4.366135	-4.555260*	
5	443.9488	3.807909	3.24E-05	-4.662418	-4.273650	-4.504803	
6	445.6905	3.233113	3.32E-05	-4.637464	-4.178011	-4.451192	
7	455.5643	18.11111	3.11E-05*	-4.702368*	-4.172230	-4.487439	
8	456.3161	1.362330	3.23E-05	-4.666476	-4.065653	-4.422890	
9	457.0462	1.307006	3.35E-05	-4.630345	-3.958837	-4.358102	
10	459.1371	3.696640	3.42E-05	-4.609250	-3.867058	-4.308349	
11	460.6124	2.575593	3.52E-05	-4.581353	-3.768475	-4.251795	
12	466.4276	10.02395*	3.45E-05	-4.601410	-3.717847	-4.243195	
13	471.2181	8.151778	3.43E-05	-4.610144	-3.655897	-4.223272	

\* indica el orden del criterio de selección  
 LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)  
 FPE: Final prediction error  
 AIC: Akaike information criterion  
 SC: Schwarz information criterion  
 HQ: Hannan-Quinn information criterion

**Tabla 23. Prueba de cointegración de Johansen**

Muestra: 1990M01 2006M02 Observaciones incluidas: 191 Series: V <sub>PQ</sub> , Y <sub>PQ</sub> Lags interval: 1 to 2					
<b>Data Trend:</b>	None	<b>None</b>	Linear	Linear	Quadratic
<b>Rank or No. of CEs</b>	No Intercept No Trend	<b>Intercept No Trend</b>	Intercept No Trend	Intercept Trend	Intercept Trend
Selected (5% level) Number of Cointegrating Relations by Model (columns)					
Trace	1	<b>1</b>	1	1	2
Max-Eig	1	<b>1</b>	1	1	2
Log Likelihood by Rank (rows) and Model (columns)					
0	441.5204	441.5204	442.0140	442.0140	442.2494
1	449.8688	453.8614	454.2660	454.9644	455.0850
2	450.2514	454.5646	454.5646	459.4906	459.4906
Akaike Information Criteria by Rank (rows) and Model (columns)					
0	-4.539481	-4.539481	-4.523707	-4.523707	-4.505230
1	-4.585013	-4.616350*	-4.610116	-4.606957	-4.597749
2	-4.547135	-4.571357	-4.571357	-4.601995	-4.601995
<b>Schwarz Criteria</b> by Rank (rows) and Model (columns)					
0	-4.403260*	-4.403260*	-4.353430	-4.353430	-4.300898
<b>1</b>	-4.380682	<b>-4.394991</b>	-4.371729	-4.351543	-4.325307
2	-4.274693	-4.264860	-4.264860	-4.261443	-4.261443

**Tabla 24. Prueba de cointegración de Johansen después de determinar el modelo**

Muestra(ajustada): 1990M04 2006M02				
Observaciones incluidas: 191 after adjusting endpoints				
Trend assumption: No deterministic trend (restricted constant)				
Series: $V_{PQ}, Y_{PQ}$				
Lags interval (in first differences): 1 to 2				
<b>Unrestricted Cointegration Rank Test</b>				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	5 Percent Critical Value	1 Percent Critical Value
None **	0.121224	26.08832	19.96	24.60
At most 1	0.007336	1.406328	9.24	12.97
*(**) denotes rejection of the hypothesis at the 5%(1%) level				
Trace test indicates 1 cointegrating equation(s) at both 5% and 1% levels				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	5 Percent Critical Value	1 Percent Critical Value
None **	0.121224	24.68199	15.67	20.20
At most 1	0.007336	1.406328	9.24	12.97
*(**) denotes rejection of the hypothesis at the 5%(1%) level				
Max-eigenvalue test indicates 1 cointegrating equation(s) at both 5% and 1% levels				
Unrestricted Cointegrating Coefficients (normalized by $b^*S11*b=I$ ):				
$V_{PQ}$	$Y_{PQ}$	C		
12.30725	-13.01302	18.61424		
-1.025274	3.545102	-18.21609		
Unrestricted Adjustment Coefficients (alpha):				
$D(V_{PQ})$	-0.029708	-0.003730		
$D(Y_{PQ})$	-0.001083	-0.005960		
1 Cointegrating Equation(s):		Log likelihood	453.8614	
<b>Normalized cointegrating coefficients (std.err. in parentheses)</b>				
$V_{PQ}$	$Y_{PQ}$	C		
1.000000	-1.057346	1.512461		
	(0.06063)	(0.42970)		
Adjustment coefficients (std.err. in parentheses)				
$D(V_{PQ})$	-0.365624			
	(0.08218)			
$D(Y_{PQ})$	-0.013333			
	(0.06285)			

**Tabla 25. Resultados de las pruebas Andrews-Kim**

Estadístico	Valor del estadístico	(Prob)
$P_a$	0.29751497	100.00000
$P_b$	0.31362323	100.00000
$P_c$	0.28755244	100.00000

Donde “Prob” es la probabilidad de que haya cambio en la cointegración entre los periodos enero 1990 – enero 1994 y febrero 1994 – febrero 1996.

**Tabla 26. Estimación ecuación (1)**

Variable dependiente: $Y_{PQ}$				
Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios				
Observaciones incluidas: 201				
Observaciones excluidas: 3 after adjusting endpoints				
Variable	Coficiente	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	7.084561	0.086676	81.73576	0.0000
$P_{GN}$	-0.418492	0.022217	-18.83681	0.0000
$XN_{PQ}$	0.095297	0.019378	4.917702	0.0000
R-squared	0.682158	Mean dependent var	7.090467	
Adjusted R-squared	0.678947	S.D. dependent var	0.263628	
S.E. of regresión	0.149376	Akaike info criterion	-0.949890	
Sum squared resid	4.417998	Schwarz criterion	-0.900587	
Log likelihood	98.46399	F-statistic	212.4751	
Durbin-Watson stat	0.494522	Prob(F-statistic)	0.000000	

**Tabla 27. Resultados de la estimación del modelo A**

Variable dependiente: $Y_{PQ}$				
Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios				
Observaciones incluidas: 201				
Observaciones excluidas: 3 after adjusting endpoints				
Variable	Coficiente	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	7.053586	0.077025	91.57539	0.0000
DUMMY4	-0.178545	0.024191	-7.380754	0.0000
$P_{GN}$	-0.309303	0.024647	-12.54923	0.0000
$XN_{PQ}$	0.105426	0.017250	6.111773	0.0000
R-squared	0.751010	Mean dependent var	7.090467	
Adjusted R-squared	0.747218	S.D. dependent var	0.263628	
S.E. of regresión	0.132545	Akaike info criterion	-1.184082	
Sum squared resid	3.460955	Schwarz criterion	-1.118345	
Log likelihood	123.0003	F-statistic	198.0652	
Durban-Watson stat	0.593972	Prob(F-statistic)	0.000000	

**Tabla 28. Resultados de la estimación del modelo B**

Variable dependiente: $Y_{PQ}$				
Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios				
Observaciones incluidas: 190				
Observaciones excluidas: 2 after adjusting endpoints				
Variable	Coficiente	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3.155587	0.182182	17.32104	0.0000
DUMMY4	-0.083476	0.013997	-5.964068	0.0000
$P_{GN}$	-0.080369	0.016804	-4.782738	0.0000
$XN_{PQ}$	0.073164	0.009943	7.358407	0.0000
$V_{PQ}$	0.627413	0.028154	22.28486	0.0000
R-squared	0.933033	Mean dependent var	7.083588	
Adjusted R-squared	0.931585	S.D. dependent var	0.269396	
S.E. of regresión	0.070464	Akaike info criterion	-2.441466	
Sum squared resid	0.918557	Schwarz criterion	-2.356018	
Log likelihood	236.9393	F-statistic	644.3866	
Durban-Watson stat	1.318560	Prob(F-statistic)	0.000000	

**PRUEBA ANDREWS – KIM , END OF SAMPLE COINTEGRATION BREAKDOWN TESTS, MARZO DE 2003**

El modelo que proponen estos autores es el siguiente:

$$(A.1) \quad y_t = \begin{cases} x'_t \beta_0 + u_t & \text{para } t = 1, \dots, T \\ x'_t \beta_t + u_t & \text{para } t = T+1, \dots, T+m, \end{cases}$$

donde  $y_t, u_t \in \mathbb{R}^k$ . Mientras la hipótesis se mantenga, los errores para los primeros “T” periodos de tiempo,  $\{u_t : t = 1, \dots, T\}$  tienen media cero, son estacionarios y ergódicos. Además, mientras la hipótesis se mantenga, los regresores para todos los periodos de tiempo,  $\{x_t : t = 1, \dots, T+m\}$  son combinaciones lineales de variables aleatorias de raíz unitaria I(1), de variables aleatorias estacionarias, y de variables determinísticas, tales como constantes y tendencias lineales en el tiempo.

Las hipótesis nula y alternativa son:

$$(A.2) \quad H_0 : \begin{cases} \beta_t = \beta_0 & \text{para todo } t = T+1, \dots, T+m \text{ y} \\ \{u_t : t = 1, \dots, T+m\} & \text{son estacionarios y ergódicos} \end{cases}$$

$$(A.3) \quad H_1 : \begin{cases} \beta_t \neq \beta_0 & \text{para todo } t = T+1, \dots, T+m \text{ y/o} \\ \text{la distribución de } \{u_{T+1}, \dots, u_{T+m}\} & \text{difiere de} \\ \text{la distribución de } \{u_1, \dots, u_m\}. \end{cases}$$

Bajo la hipótesis nula, el modelo es un modelo de regresión cointegrado bien especificado para todo  $t = 1, \dots, T+m$ . Bajo la hipótesis alternativa, el modelo es un modelo de regresión cointegrado bien especificado para  $t = 1, \dots, T$ , pero para  $t = T+1, \dots, T+m$  la relación de cointegración se rompe.

El rompimiento puede deberse a:

1. Un movimiento del vector de cointegración de  $\beta_0$  a  $\beta_t$ .
2. Un movimiento en la distribución de  $u_t$ , ya que de ser estacionario puede pasar a ser una variable aleatoria de raíz unitaria.
3. Algún otro movimiento en la distribución de  $\{u_{T+1}, \dots, u_{T+m}\}$  hasta  $\{u_1, \dots, u_m\}$ .
4. Alguna combinación de los movimientos previos.

En los siguientes apartados, sólo se introducirá pruebas que son diseñadas específicamente para los casos (1) y (2).

**La prueba  $P_a$**

Primero se considera una prueba estadística que es de forma cuadrática en los residuales de “post-rompimiento”  $\{\hat{u}_t : t = T+1, \dots, T+m\}$ . La prueba rechaza la hipótesis nula si el estadístico de la prueba excede el valor crítico que es determinado usando un método de *submuestreo paramétrico*.

Para cualquier  $1 \leq r \leq s \leq T+m$ , sea

$$(A.4) \quad \begin{aligned} Y_{r-s} &= (y_r, \dots, y_s)', \\ X_{r-s} &= (x_r, \dots, x_s)', \\ U_{r-s} &= (u_r, \dots, u_s)', \end{aligned}$$

Sea:

$$(A.5) \quad P_j(\beta, \Omega) = (Y_{j-(j+m-1)} - X_{j-(j+m-1)}\beta)' \Omega (Y_{j-(j+m-1)} - X_{j-(j+m-1)}\beta) \text{ y}$$

$$(A.6) \quad P_j(\beta) = P_j(\beta, I_m)$$

Para  $j=1, \dots, T+1$ , donde  $\Omega$  es alguna matriz no singular  $m \times m$  e  $I_m$  denote la dimensionalidad “m” de la matriz identidad.

Sea  $\hat{\beta}_{r-s}$  un estimador de  $\beta_0$  basado en las observaciones  $t = r, \dots, s$  para  $1 \leq r < s \leq T+m$ . Por ejemplo podemos utilizar el estimador de mínimos cuadrados ordinarios (MCO)

$$(A.7) \quad \hat{\beta}_{r-s} = (X'_{r-s} X_{r-s})^{-1} X'_{r-s} Y_{r-s}$$

(Siempre y cuando  $X'_{r-s} X_{r-s}$  sea no singular). Otros estimadores también se pueden considerar.

La primera prueba estadística,  $P_a$ , que se consideró está definida por

$$(A.8) \quad \begin{aligned} P_a &= P_{T+1}(\hat{\beta}_{1-T}) \\ &= \sum_{t=T+1}^{T+m} (y_t - x'_t \hat{\beta}_{1-T})^2 \end{aligned}$$

De esta forma,  $P_a$  es la suma de los residuales al cuadrado de “post-rompimiento”. El estadístico  $P_a$  es a menudo definido como un estadístico “predictivo”. La motivación para considerar este estadístico descansa en que en un modelo de regresión lineal con varianza de error conocida esto es (proporcional a) el estadístico “F”. Se sabe que la prueba F tiene propiedades potentes en el contexto (restringido) en el cual los errores son i.i.d. y normales y los regresores son estrictamente exógenos.

Bajo la hipótesis nula, la distribución de  $P_{T+1}(\beta_0)$  es la misma que  $P_j(\beta_0)$  para todo  $j \geq 1$ , porque  $P_j(\beta_0) = \sum_{t=j}^{j+m-1} u_t^2$  y  $\{u_t : t \geq 1\}$  son estacionarios. El estimador  $\hat{\beta}_{1-T}$ , el cual aparece en el estadístico  $P_a$ , converge en probabilidad al verdadero parámetro,  $\beta_0$ , bajo consideraciones aceptables. De aquí, la distribución asintótica nula de  $P_a$  es la distribución de  $P_1(\beta_0)$ .

Las variables aleatorias  $\{P_j(\beta_0): j=1, \dots, T-m+1\}$  son estacionarias y ergódicas bajo  $H_0$  y  $H_1$ . En consecuencia, la función de distribución empírica (df) de  $\{P_j(\beta_0): j=1, \dots, T-m+1\}$  es un estimador consistente de “df” de  $P_1(\beta_0)$ . De aquí, se puede estimar consistentemente “df” de  $P_1(\beta_0)$  al usar el df empírico de  $\{P_j(\beta_0): j=1, \dots, T-m+1\}$  evaluando como un estimador consistente de  $\beta_0$ .

El estimador  $\hat{\beta}_{1-T}$ , el cual aparece en el estimador  $P_a$  no depende de observaciones indexadas en  $t = T+1, \dots, T+m$  que aparecen en  $P_{T+1}(\beta)$ . Para representar esta propiedades de estadística de submuestra, se evalúa  $P_j(\beta)$  como un estimador excluyente de “m”,  $\hat{\beta}_{(j)}$ ,

este es análogo a  $\hat{\beta}_{1-T}$  pero no depende de las observaciones que aparecen en  $P_j(\beta)$ . Por definición, para  $j = 1, \dots, T-m+1$ ,

$$(A.9) \quad \hat{\beta}_{(j)} = \text{estimador de } \beta \text{ usando observaciones indexadas por } t = 1, \dots, T \text{ con } t \neq j, \dots, j+m-1.$$

Para los tipos de estimadores mencionados arriba, el estimador de  $\hat{\beta}_{(j)}$  es consistente con  $\beta_0$  (de forma uniforme sobre “j”) bajo consideraciones aceptables.

Se define:

$$(A.10) \quad P_{a,j} = P_j(\hat{\beta}_{(j)}) \text{ para } j = 1, \dots, T-m+1$$

La “df” empírica  $\{P_{a,j} : j=1, \dots, T-m+1\}$  es :

$$(A.11) \quad \hat{F}_{P_a, T}(x) = \frac{1}{T-m+1} \sum_{t=1}^{T-m+1} \mathbf{1}(P_{a,j} \leq x)$$

Esta distribución empírica converge en probabilidad (y casi de forma segura) a la función de distribución (df) de  $P_1(\beta_0)$  (bajo consideraciones aceptables). En consecuencia, para obtener una prueba con un nivel de significancia asintótica  $\alpha$ , se toma el valor crítico para la prueba estadística  $P_a$  para estar en el cuantil muestral  $1-\alpha$ ,  $\hat{q}_{P_a, 1-\alpha}$  de  $\{P_{a,j} : j=1, \dots, T-m+1\}$ . Por definición

$$(A.12) \quad \hat{q}_{P_a, 1-\alpha} = \inf \{x \in R : \hat{F}_{P_a, T}(x) \geq 1-\alpha\}$$

Se rechaza  $H_0$  si  $P_a > \hat{q}_{P_a, 1-\alpha}$ . De forma equivalente, se rechaza  $H_0$  si  $P_a$  excede  $100(1-\alpha)$  de los valores  $\{P_{a,j} : j=1, \dots, T-m+1\}$ , esto es:

$$(A.13) \quad \frac{\sum_{j=1}^{T-m+1} \mathbf{1}(P_a > P_{a,j})}{(T-m+1)} \geq 1-\alpha$$

El p-value para la prueba  $P_a$  es:

$$(A.14) \quad pv_{P_a} = \frac{\sum_{j=1}^{T-m+1} \mathbf{1}(P_a \leq P_{a,j})}{(T-m+1)}$$

### Pruebas $P_b$ y $P_c$

Las simulaciones indican que  $P_a$  sobrerchaza la hipótesis nula en muchos escenarios. En consecuencia, se consideran dos variantes de la prueba  $P_a$  que son diseñadas para tener mejores propiedades.

Se definen los estadísticos  $P_b$  y  $P_{b,j}$  de la manera siguiente:

$$(A.15) \quad P_b = P_{T+1}(\hat{\beta}_{1-(T+[m/2])}) \text{ y}$$

$$(A.16) \quad P_{b,j} = P_j(\hat{\beta}_{(j)}) \text{ para } j = 1, \dots, T-m+1$$

donde  $[m/2]$  denota el entero más pequeño que es más grande o igual a  $m/2$ . El estimador de  $\hat{\beta}_{1-(T+[m+2])}$  utiliza las observaciones  $t = 1, \dots, T+[m/2]$ . Los valores críticos y los p-values para  $P_b$  son obtenidos usando  $\{P_{b,j} : j = 1, \dots, T-m+1\}$  como en las ecuaciones (A.12)-(A.14) donde “a” se reemplaza por “b”.

el motivo del estadístico  $P_b$  es la siguiente. El estadístico  $P_b$  es algo menos variable que el estadístico  $P_a$  porque el estimador  $\hat{\beta}_{1-(T+[m/2])}$  depende de las observaciones indexadas por  $t = T+1, \dots, T+[m/2]$  y, de aquí, los residuales indexados en  $t = T+1, \dots, T+[m/2]$  son menos variables cuando los cálculos utilizan  $\hat{\beta}_{1-(T+[m/2])}$  que cuando se utiliza  $\hat{\beta}_{1-T}$ . Los valores críticos se basan para  $P_b$  sobre los mismos estadísticos  $P_j(\beta_{(j)})$  como en el caso del estadísticos  $P_a$ . En consecuencia, la prueba  $P_b$  rechaza de forma menos frecuente la hipótesis nula que lo que lo hace la prueba  $P_a$ .

A continuación se considerara el estadístico  $P_c$  que depende de estimador de la muestra completa,  $\hat{\beta}_{1-(T+m)}$ :

$$(A.17) \quad P_c = P_{T+1}(\hat{\beta}_{1-(T+m)})$$

Este estadístico es menos variable que tanto  $P_a$  o  $P_b$  porque  $\hat{\beta}_{1-(T+m)}$  hace uso de las observaciones  $t = T+1, \dots, T+m$ , de aquí, los residuales para estos periodos son menos variables cuando se computan utilizando  $\hat{\beta}_{1-(T+m)}$  que cuando se utilizan  $\hat{\beta}_{1-T}$  o  $\hat{\beta}_{1-(T+[m/2])}$ . Las simulaciones muestran que la prueba basada en el estadístico  $P_c$  y los estadísticos de submuestra  $\{P_j(\hat{\beta}_{(j)}): j = 1, \dots, T-m+1\}$  tiende a no rechazar la hipótesis nula en un amplio arreglo de casos. De esta forma, se introduce estadísticos de submuestra para usar  $P_c$  que sean algo más variables que  $\{P_j(\hat{\beta}_{(j)}): j = 1, \dots, T-m+1\}$ . Se define el estimador excluyente “m/2”,  $\hat{\beta}_{2(j)}$  de la siguiente forma:

$$(A.18) \quad \hat{\beta}_{2(j)} = \text{estimador de } \beta \text{ usando observaciones indexadas por } t = 1, \dots, T \text{ con } t \neq j, \dots, j+[m/2]-1$$

para  $j=1, \dots, T-m+1$ . Por definición,  $\hat{\beta}_{2(j)}$  es análogo a  $\hat{\beta}_{r-s}$ , pero está basado en las observaciones indicadas arriba.

Se define el estadístico  $P_{c,j}$  de la siguiente forma:

$$(A.19) \quad P_{c,j} = P_j(\hat{\beta}_{2(j)}) \text{ para } j=1, \dots, T-m+1$$

Los valores críticos y los p-values para  $P_c$  son obtenidos usando  $\{P_{c,j} : j = 1, \dots, T-m+1\}$  con en (A.12)-(A.14) con “a” reemplazada por “c”. La prueba basada en  $P_c$  y  $P_{c,j}$  rechaza de forma notable menos frecuentemente que la prueba  $P_b$ .

## ESTIMACIÓN NO PARAMÉTRICA

Para la estimación no paramétrica de la relación entre la tasa de crecimiento del precio del LDPE contra la tasa de crecimiento de precio del petróleo<sup>51</sup> se utilizaron dos tipos de Kernels, a continuación se especifican las formas funcionales de los mismos así como el tamaño de la ventana “h” que se utilizó para cada caso.

Debido a que las técnicas de reducción de sesgo para estimación de modelos no paramétricos son las mismas que en el caso de la estimación de densidades de forma no paramétrica, se utilizó la subsuavización, es decir, se subsuaviza “h” en comparación con el óptimo, de esta forma se trata de que el sesgo desaparezca en el límite ( $n \rightarrow \infty$ ), lo mismo sucede si utilizamos un kernel de alto orden y ajustamos la “h” por el método cross validation.

(a) Forma funcional del Kernel normal y tamaño de ventana utilizado:

$$K_n(\psi) = (2\pi)^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2}(\psi)^2\right)$$

$$\psi = \frac{x_i - x}{h}$$

$$h = 0.5 \left(1.06\sigma n^{-1/5}\right)$$

(b) La forma funcional que se utilizó para el kernel de Epanechnikov y tamaño de ventana utilizado:

$$K_0(\psi) = \begin{cases} \frac{3}{4}(1-\psi^2) & \text{si } |\psi| < 1 \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases}$$

$$\psi = \frac{x_i - x}{h}$$

$$h = 0.5 \left(2.34\sigma n^{-1/5}\right)$$

Se utilizaron 300 valores soporte<sup>52</sup> para observar el comportamiento de la estimación, sin embargo, los pronósticos del precio del polietileno de baja densidad se realizaron utilizando los pronósticos del precio del petróleo como valores soporte.

El estimador utilizado es el conocido como Nadayara-Watson<sup>53</sup>:

$$w_i = \frac{K(\psi)}{\sum K(\psi)}$$

$$\hat{m} = \sum_{i=1}^n w_i y_i$$

<sup>51</sup> En econometría no paramétrica es difícil hacer pronósticos si no se está dentro del rango de los valores observados, es por esta razón que la forma en que se hizo esta estimación fue a través de tasas de crecimiento de los precios y no directamente sobre los precios o sobre el logaritmo de los precios.

<sup>52</sup> Ver programa de GAUSS.

<sup>53</sup> Es un estimador que considera las observaciones en la vecindad: 1.- Se basa en las  $k$  observaciones más

cercanas alrededor de  $x$ . 2.- En particular se minimiza la siguiente función:  $\min_{\{m\}} \sum_i^n \{y_i - m\}^2 K(\psi)$

Cabe hacer notar que utilizando estimadores linealmente locales y expansiones de alto orden también se reduce el orden. Expandir el orden del polinomio en la regresión es equivalente a usar Kernels de alto orden para reducir el sesgo<sup>54</sup>.

A continuación se presenta el programa utilizado en GAUSS.

Donde:

x: tasa de crecimiento de los precios del petróleo.

y: tasa de crecimiento de los precios del polietileno de baja densidad.

rOilLow: tasa de crecimiento pronosticada por la EIA para un escenario de precios de petróleo bajos.

rOilHigh: tasa de crecimiento pronosticada por la EIA para un escenario de precios de petróleo altos.

```

/*****
/*CARGA DE DATOS*/
/*****
/*VALORES SOPORTE ( PARA PRONOSTICOS SON LOS DOS PRIMEROS "x0" )*/
/*x0 = rOilLow;*/

/*x0 = rOilhigh;*/

minimo=minc(x);
maximo=maxc(x);
step = (maximo-minimo)/300;
x0=seqa(minimo,step,300); /* ---> VALORES SOPORTE */

/*****
/*CALCULOS DEL PROGRAMA CENTRAL*/
mx = sumc(x) / (rows(x));
vx1 = ((x-mx)^2) / (rows(x)-1);
vx2 = sumc(vx1);
hn=0.5*1.06 * (vx2^0.5) / (rows(x)^(1/5)); /* ---> Valor de h subsuavizada */
hb=0.5*2.34 * (vx2^0.5) / (rows(x)^(1/5)); /* ---> Valor de h subsuavizada */
reg2=estregk(y,x,x0,hb,&kernelb);
reg3=estregk(y,x,x0,hn,&kerneln);
end;
/*****
/* CALCULOS DE LOS PROCEDIMIENTOS */
proc estregk(y,x,x0,h,&kernel);
local kernel: proc,k,n0,m,pdf,i,psi,w;
k=cols(x);
n0=rows(x0);
m=zeros(n0,1);
pdf=zeros(n0,1);
i=0;
do while i<n0;
i=i+1;
psi=(x-x0[i,])/h;
pdf=kernel(psi);
w=pdf/sumc(pdf);
m[i,1]=sumc(y.*w);
endo;
retp(m);
endp;
/*****
proc kernelb(z);
retp(prod(((abs(z).<1).*(.75*(1-z.*z)))));
endp;

```

<sup>54</sup> Otros métodos para reducir el sesgo y la varianza, por ejemplo, pueden ser “optimización de la función de máxima verosimilitud” o la técnica “plug-in”.

```
/******  
proc kernln(z);  
local k;  
k=cols(z); /* k=1 */  
retp((1/sqrt((2*pi)^k))*exp(-.5*sumc((z.*z'))));  
endp;
```

Para mayores datos sobre las consideraciones de la estimación no paramétrica consultar *Nonparametric econometrics* de A. Pagan and A. Ullah. Cambridge University Press: Cambridge, UK. 1999, capítulos 2 y 3.

## IX.- BIBLIOGRAFÍA

1. Andrews, Donald W.K., Kim, Jae-Young. *End of sample cointegration breakdown tests*. Cowles Foundation Discussion Paper No. 1404. Marzo de 2003.
2. *Anuario Estadístico Petroquímica (varios años)*. México, D.F., Secretaría de Energía.
3. Barup, M.B., Middlebrooks, E.J.. *Pollution Control in the Petrochemical Industry*. Tennessee U., Lewis Pu. Inc., Mich. 1987.
4. Carreón Rodríguez, Víctor. *El petróleo y la economía mexicana*. CIDE, división de economía, documento de trabajo, 2001.
5. Chapman, Keith. *The international petrochemical industry: evolution and location*. Blacwell, U.K., 1991.
6. Colmenares, César Francisco. *PEMEX: crisis y reestructuración*. México, UNAM, Programa Universitario de Energía, 1991.
7. Enders, Walter. *Applied econometric time series*. Wiley, 2004.
8. Fujita, M.A., P. Krugman, and A.J. Venables. *The Spatial Economy. Cities, Regions and International Trade*. MIT Press, Cambridge, 1999.
9. Gazca Zamora, José. *Espacios transnacionales, interacción, integración y fragmentación en la frontera México – Estados Unidos*. México, UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, 2002.
10. Glauthier Tad, Halkstein Harold, Williamson Robert. *Petrochemical report*, Oil and Gas Journal. Mayo 19 de 1997.
11. *Informe estadístico de labores 2003*. Petróleos Mexicanos. Marzo de 2004.
12. Jasso Villazul, Javier. *Madurez tecnológica y competitividad en la industria petroquímica internacional*. CIDE, División de Economía, 1996.
13. Jasso, Javier. *Desempeño innovador y competitividad internacional*, CIDE, división de economía, documento de trabajo, 1998.
14. Hydrocarbon Processing, *Petrochemical Report*. Noviembre de 2003.
15. Krugman, Paul R.; *Desarrollo geográfico y teoría económica*. Barcelona, A. Bosch, 1997.
16. Krugman, Paul. *El internacionalismo moderno: la economía internacional y las mentiras de la competitividad*. Crítica, Grijalbo Mondadori, Barcelona, 1997.
17. López Portillo, José. *El petróleo, sólo como factor de desarrollo: por un nuevo orden mundial*. México, Presidencia de la República, 1980.
18. Manzo, José Luis. *La petroquímica mexicana: industria estratégica o subordinada*. México, Instituto de Estudios de la Revolución Democrática, Nuestro Tiempo, 1996.

19. *Memoria de labores 2003*. Petróleos Mexicanos. Marzo de 2004.
20. Montaña Aubert, Eduardo. *Integración de la petroquímica en México*. México, D.F., UNAM, 2001.
21. Pagan, A., Ullah, A. *Nonparametric econometrics*. Cambridge University Press: Cambridge, UK. 1999.
22. Porter, Michael E. *On Competition*. Harvard Business Review, Boston, 1998.
23. Porter, Michael E. *Competitive advantage of nations*. Free Press, 1989.
24. Porter, Michael E. *Location, Competition, and economic development: local clusters in a global economic*. The economic development quarterly journal, Vol 14, #1. Febrero de 2000.
25. *Prospectiva de la investigación y desarrollo tecnológico del sector petrolero al año 2025*. Instituto Mexicano del Petróleo. Junio de 2001.
26. Rousseau, Isabelle. *Reformas y apertura en Petróleos Mexicanos: el gas natural y la petroquímica secundaria (1989-2000)*. Universidad de Ámsterdam. Julio de 2002.
27. Rousseau, Isabelle. *Las transformaciones de la política de hidrocarburos en México en el contexto de la transición democrática: esquemas organizacionales y estrategias de actores (1989-2004)*. Foro Internacional, El Colegio de México. Marzo de 2006.
28. Rousseau, Isabelle. ¿Hacia una integración de los mercados petroleros en América? Mercado, seguridad y soberanía nacional: las dinámicas contradictorias de la política energética mexicana (hidrocarburos) en el marco de la integración del norte de América. El Colegio de México, 2006.
29. Saxe – Fernández, John. *Petróleo y estrategia: México y Estados Unidos en el contexto de la política global*. México, Siglo XXI, 1980.
30. Saxe-Fernández, John. *La compra – venta de México*. Plaza Janes México, S.A. de C.V., 2002.
31. Shields, David. *PEMEX: un futuro incierto*. México, Editorial Planeta, 2003.
32. Snoeck, Michèle. *La industria petroquímica básica en México, 1970-1982*. El Colegio de México, A.C., 1986.
33. Snoeck, Michèle. *El comercio exterior de hidrocarburos y derivados en México, 1970-1985*. El Colegio de México, 1988.
34. Tullo, Alexander H.; *Petrochemicals*; Chemical and Engineering News. Marzo 15, 2004.
35. Thayer, Ann M. 2003. *Industry Review*. Chemical and Engineering News. Diciembre 22, 2003.
36. Viniegra González, Gustavo. *Diagnóstico y perspectivas de la industria química de México*. Secretaría de Economía, El Colegio de México. Octubre de 2003.
37. Willars, Jaime Mario. *El petróleo en México: efectos macroeconómicos, elementos de política y perspectivas*. México, El Colegio de México, Programa de Energéticos, 1984.
38. Wionczek, Miguel, Gutiérrez Roberto, Guzmán, Oscar M. *Posibilidades y limitaciones de la planeación energética en México*. El Colegio de México, Programa de Energéticos, 1988.
39. Wionczek, Miguel S. *Mercados mundiales de hidrocarburos: situación presente, perspectivas y tendencias futuras*. El Colegio de México, 1983.

## X.- INDICE DE TABLAS

	PÁGINA
TABLA 1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	46
TABLA 2. VALORES DE LA TIR CON ESCENARIO DE PRECIOS ALTOS	52
TABLA 3. VALORES DE LA TIR CON ESCENARIO DE PRECIOS BAJOS	52
TABLA 4. RESULTADOS CON PRECIOS ALTOS (ESCENARIO 1)	53
TABLA 5. PROYECTO SIN MODIFICACIÓN DEL PRECIO DE LA MATERIA PRIMA (ESCENARIO 1)	54
TABLA 6. GANANCIA O PÉRDIDA EN RECAUDACIÓN AL HABER MODIFICADO EL PRECIO DE LA MATERIA PRIMA (ESCENARIO 1)	55
TABLA 7. RESULTADOS CON PRECIOS BAJOS (ESCENARIO 2)	56
TABLA 8. PROYECTO SIN MODIFICACIÓN DEL PRECIO DE LA MATERIA PRIMA (ESCENARIO 2)	56
TABLA 9. GANANCIA O PÉRDIDA EN RECAUDACIÓN AL HABER MODIFICADO EL PRECIO DE LA MATERIA PRIMA (ESCENARIO 2)	57
TABLA 10. RESULTADOS CON PRECIOS INTERMEDIOS (ESCENARIO 3)	57
TABLA 11. PROYECTO SIN MODIFICACIÓN DEL PRECIO DE LA MATERIA PRIMA (ESCENARIO 3)	58
TABLA 12. GANANCIA O PÉRDIDA EN RECAUDACIÓN AL HABER MODIFICADO EL PRECIO DE LA MATERIA PRIMA (ESCENARIO 3)	59
TABLA 13. MODIFICACIÓN DEL PRECIO DE LA MATERIA PRIMA DE ACUERDO AL ESCENARIO 3	60
TABLA 14. INVERSIÓN EN I&D DE ALGUNAS EMPRESAS PETROQUÍMICAS DE EUA	66
TABLA 15. VENTAS DE ALGUNAS EMPRESAS PETROQUÍMICAS DE EUA	67
TABLA 16. PRUEBA DE CAUSALIDAD DE GRANGER DE $V_{PQ}$ Y $Y_{PQ}$	70
TABLA 17. ESTIMACIÓN DE $V_{PQ} = B_0 + B_1 Y_{PQ}$ POR MCO	70
TABLA 18. PRUEBAS DE RAÍZ UNITARIA PARA “ $Y_{PQ}$ ”	70
TABLA 19. PRUEBAS PARA VER ESTACIONALIDAD DE “ $Y_{PQ}$ ”	71
TABLA 20. PRUEBAS DE RAÍZ UNITARIA PARA “ $V_{PQ}$ ”	71
TABLA 21. PRUEBAS PARA VER ESTACIONALIDAD DE “ $V_{PQ}$ ”	71
TABLA 22. PRUEBA DE SELECCIÓN DEL ORDEN DEL VAR	71
TABLA 23. PRUEBA DE COINTEGRACIÓN DE JOHANSEN	72
TABLA 24. PRUEBA DE COINTEGRACIÓN DE JOHANSEN DESPUÉS DE DETERMINAR EL MODELO	73
TABLA 25. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ANDREWS-KIM	73
TABLA 26. ESTIMACIÓN ECUACIÓN (1)	74
TABLA 27. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL MODELO A	74
TABLA 28. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL MODELO B	74

## XI.- INDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
FIGURA 1. PRINCIPALES CADENAS PRODUCTIVAS DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA	7
FIGURA 2. INVERSIÓN EN I&D COMO % DE LAS VENTAS TOTALES	11
FIGURA 3. PRECIO PROMEDIO-ANUAL DEL PETRÓLEO	17
FIGURA 4. FLUJOS MÁS IMPORTANTES DEL COMERCIO DE CRUDO (MILLONES DE TONELADAS)	20
FIGURA 5. FLUJOS MÁS IMPORTANTES DEL COMERCIO DE GAS (MILES DE MILLONES DE METROS CÚBICOS)	22
FIGURA 6. RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN DE EMPRESAS ESTADOUNIDENSES	25
FIGURA 7. PROCESO CONTINUO DE OPTIMIZACIÓN	25
FIGURA 8. CICLO VIRTUAL DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA	27
FIGURA 9. RENTABILIDAD DE ALGUNAS EMPRESAS PETROQUÍMICAS DE EUA	29
FIGURA 10. CICLO DE NEGOCIOS DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA	30
FIGURA 11. PROYECTOS ACTIVOS EN MATERIA PETROQUÍMICA	31
FIGURA 12. PROYECTOS NUEVOS EN MATERIA PETROQUÍMICA	32
FIGURA 13. PROYECTOS ACTIVOS EN MATERIA DE REFINACIÓN	33
FIGURA 14. PROYECTOS NUEVOS EN MATERIA DE REFINACIÓN	33
FIGURA 15. PROYECTOS ACTIVOS EN MATERIA DE GAS	34
FIGURA 16. PROYECTOS NUEVOS EN MATERIA DE GAS	34
FIGURA 17. PRODUCCIÓN Y VENTA DE PETROQUÍMICOS A NIVEL AGREGADO EN MÉXICO (DATOS MENSUALES)	35
FIGURA 18. EXPORTACIONES E IMPORTACIONES DE PETROQUÍMICOS (EN VOLUMEN, DATOS MENSUALES)	36
FIGURA 19. BALANZA COMERCIAL (EN VOLUMEN) DE LA IPQ A NIVEL AGREGADO DE MÉXICO (DATOS MENSUALES)	36
FIGURA 20. BALANZA COMERCIAL (EN VALOR) DE LA IPQ A NIVEL AGREGADO DE MÉXICO (DATOS MENSUALES)	37
FIGURA 21. PRECIOS CORRIENTES DEL PETRÓLEO Y DEL GAS NATURAL (DATOS MENSUALES)	37
FIGURA 22. PRECIOS DEL POLIETILENO Y PRECIO DEL PETRÓLEO	38
FIGURA 23. PRODUCCIÓN PETROQUÍMICA AGREGADA Y PIB MEXICANO	38
FIGURA 24. IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE PETROLÍFEROS EN MÉXICO	39
FIGURA 25. PRODUCCIÓN PETROQUÍMICA AGREGADA Y PIB DEL SECTOR MANUFACTURERO V	40
FIGURA 26. VENTAS Y PRODUCCIÓN PETROQUÍMICAS A NIVELES AGREGADOS	41
FIGURA 27. PRUEBAS CUSUM Y CUSUM-CUADRADA PARA LA ESTIMACIÓN DE $V_{PQ} = B_0 + B_1 Y_{PQ}$	42
FIGURA 28. PRUEBA CUSUM CUADRADA PARA LA ECUACIÓN (2)	44
FIGURA 29. PRECIO Y PRONÓSTICOS DEL PETRÓLEO	51
FIGURA 30. ESTIMACIÓN NO-PARAMÉTRICA DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL PRECIO DEL LDPE CONTRA TASA DE CRECIMIENTO DE PRECIO DEL PETRÓLEO	51
FIGURA 31. PRONÓSTICOS (ESTIMADOS VÍA NO PARAMÉTRICA) DEL PRECIO DEL LDPE	52