

Maduración tecnológica y perspectivas de la industria petroquímica mundial

Roberto Gutiérrez R. *

A pesar de la desaceleración de su crecimiento durante la primera mitad de los años ochenta, la industria petroquímica mundial mantiene una considerable fuerza de expansión a mediano plazo, resultado del auge de ciertas actividades de punta con las cuales se encuentra encadenada hacia adelante: la fabricación del *hardware* para las computadoras y los nuevos materiales que demandan las industrias automovilística, aeronáutica, naval, de la construcción, y otras. Esta expansión deberá efectuarse más dinámicamente en los países en desarrollo donde el déficit de petroquímicos es todavía considerable, no obstante que muchos de ellos son importantes productores de las materias primas (petróleo crudo y gas natural) y cuyos eslabonamientos inter e intrasectoriales de esa industria son aún incipientes.

La teoría del ciclo de vida del producto, que comprende el auge, la maduración y la declinación de industrias particulares en diferentes países debido a la difusión y transferencia de tecnología

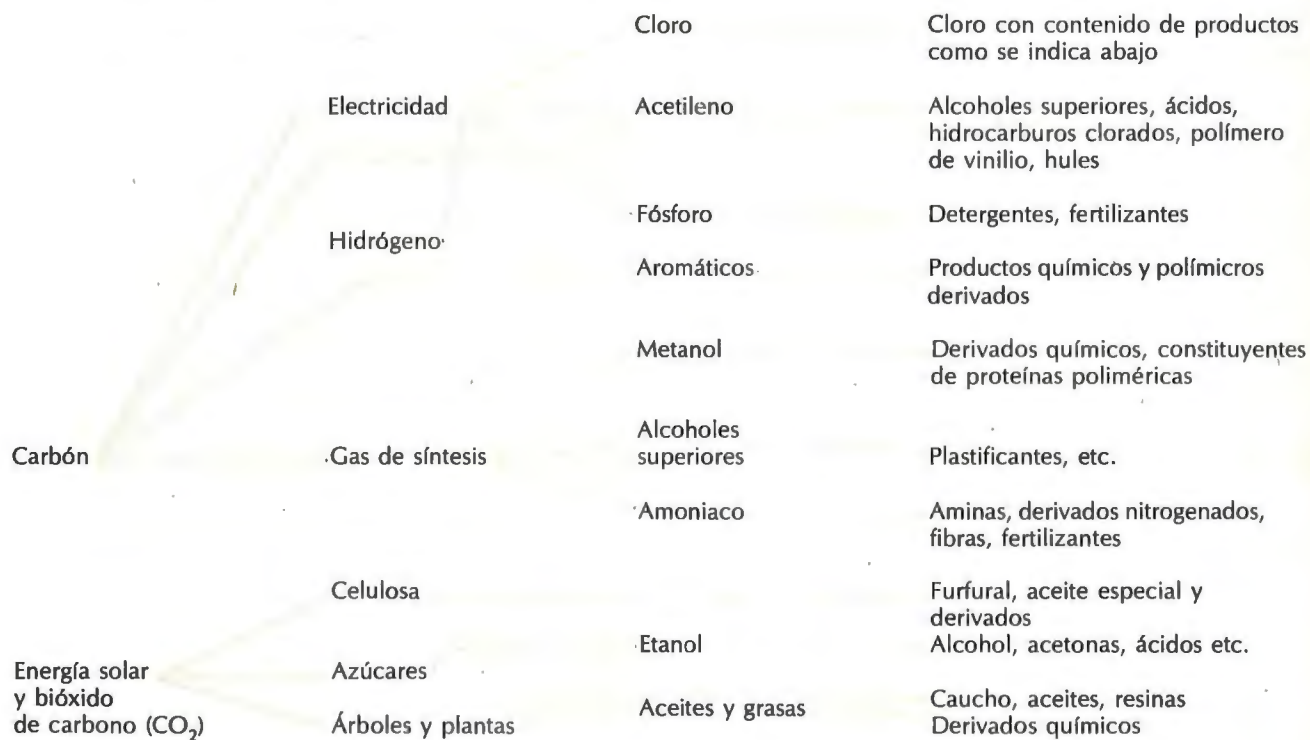
es una herramienta particularmente útil para analizar la evolución y las perspectivas de la actividad petroquímica internacional. Empero, dicho análisis resulta insuficiente si sólo se considera el elemento tecnológico y se prescinde de otras características fundamentales de esta industria, particularmente el tamaño de la planta, las economías de escala y los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás. En el presente ensayo se procura evitar tal omisión, que parece ser una constante de los pocos trabajos que sobre la materia se han escrito en México. También se busca sentar las bases para un debate que muy pronto se planteará en México como consecuencia de los siguientes factores: a) el cada vez más intolerable déficit comercial de esta actividad; b) el imperativo de concluir proyectos que se interrumpieron a partir de 1983, debido a la crisis económica, y c) la necesidad de erigir barreras a la declinación persistente que ha padecido la actividad petrolera nacional durante los últimos años y que podría desembocar en un serio deterioro de las relaciones entre el Estado y el sindicato petrolero. Dicha política, cuya aplicación no tendría ninguna justificación en las áreas de exploración, explotación, y comercialización interna y externa —debido tanto a la contracción del mercado nacional como a la crisis de precios de los hidrocarburos por la que atraviesa el mercado internacional—, sería muy bien recibida en el área de transformación secundaria.

Este análisis, que se centra en el entorno petroquímico internacional y difiere para un futuro trabajo la exposición de los antecedentes históricos y tecnológicos de la situación nacional de

* De la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. El presente trabajo se basa parcialmente en una amplia investigación que realizó el autor en la Universidad de Manchester sobre el cambio tecnológico en la industria petroquímica mexicana y mundial. Dicha investigación no habría sido posible sin la asesoría gentil y acertada del profesor John S. Metcalfe. Las opiniones vertidas en este trabajo son, sin embargo, de la exclusiva responsabilidad del autor.

GRÁFICA 1

Productos químicos y procesos importantes hasta antes de 1950



Fuente: P.G. Caudle, "Chemicals and Energy the Next 25 years", *Futures*, octubre de 1978.

dicha industria, así como sus posibilidades de desarrollo, permite al autor retomar una proposición esbozada en 1981, cuando sugirió trasladar el desarrollo futuro de la industria petrolera nacional de la simple explotación y exportación de la materia prima a la elaboración y exportación de productos petroleros manufacturados, esto es, petrolíferos y petroquímicos.¹

Si se hace a un lado el fuerte proteccionismo que practican actualmente los países industriales en esta área, el cual responde más a cuestiones coyunturales que a una característica estructural del mercado mundial, es posible mantener expectativas favorables de largo plazo. En esta industria, como en otras, el país debe empezar a buscar la forma en que se insertará en la futura división internacional del trabajo, una vez que concluya la recesión económica mundial, que se ha prolongado ya por más de 15 años.

Expansión y auge

A juzgar por las fechas de innovación tecnológica de los productos que componen la industria petroquímica, ésta es relativamente nueva: el primer proceso petroquímico con fines co-

merciales se efectuó en 1921, en Estados Unidos. Los avances posteriores se desarrollaron con cierta celeridad, contribuyendo al auge de la industria química en general, de la cual la petroquímica es hoy día, por los insumos empleados, su rama más relevante.²

De los años veinte a los cuarenta, la industria química tuvo un rápido desarrollo, paralelo al de otras actividades líderes durante aquel período, como la transportación aérea y la televisión en blanco y negro, que constituyeron lo que hoy se conoce como la cuarta revolución industrial.³ La lista de productos químicos descubiertos o innovados en aquellos años es muy grande: metanol, celofán, plásticos, fibras, caucho sintético y otros que contribuyeron a satisfacer las necesidades bélicas de esos años.

Los procesos básicos de esta industria se basaban en el carbón (por medio del acetileno, la síntesis del gas y el alquitrán), y en los azúcares, principalmente molasas (véase la gráfica 1). Adi-

2. En términos de valor, los productos químicos elaborados con petróleo y gas natural representan aproximadamente 80% de la producción química mundial. Comisión Económica para Europa, *Market Trends for Chemical Products 1970-1975 and Prospects for 1980*, vol. 1, Naciones Unidas, Nueva York, 1978, p. 56.

3. La primera revolución industrial fue la de los textiles de algodón, el acero y la máquina de vapor, a finales del siglo XVIII; la segunda fue la de los ferrocarriles, a mediados del siglo XIX, y la tercera fue la de la electricidad y los automóviles, a principios del siglo XX. Simon Kuznets, *Economic Change*, W.W. Norton, p. 109.

1. Roberto Gutiérrez R., "Cambios de matiz en la estrategia económica de México: los años setenta y ochenta", en *Comercio Exterior*, vol. 31, núm. 8, México, agosto de 1981, pp. 864-875.

cionalmente, debe recordarse que en Estados Unidos se utilizaron los gases de refinería como una fuente de olefinas, y que en Alemania se usó el gas natural para producir acetileno. La otra materia prima básica la constituían algunos productos vegetales de los que se obtenían caucho, aceites, resinas y otros productos. En aquel entonces no existía todavía una industria petroquímica como tal; sólo había una rama de la química que satisfacía los requerimientos de la industria automovilística mediante la elaboración de productos como pinturas, anticongelantes y adhesivos.

Pronto fue evidente que la industria química tendría que recurrir al petróleo y al gas natural para continuar su desarrollo y cubrir de modo conveniente sus necesidades de materias primas; aquéllos eran los únicos productos cuyo suministro abundante, oportuno, barato y limpio se podía garantizar. Como consecuencia, a principios de los cincuenta la industria petroquímica ya se encontraba bien establecida en Estados Unidos y la Gran Bretaña y pocos años después comenzó a desarrollarse en el resto de Europa y en Japón; esto sentó las bases para el crecimiento impresionante que experimentó durante los veinte años siguientes (véase el cuadro 1), que no sólo fue muchas veces mayor que el del producto bruto mundial, sino también el más rápido de todas las industrias en ese período, aunque similar al de las telecomunicaciones y la electrónica.

CUADRO 1

Crecimiento de la producción petroquímica

	Millones de toneladas				Tasas anuales promedio de crecimiento		
	1955	1960	1969	1975	1955-1960	1960-1969	1969-1975
Mundial	6.8	13.0	52.0	105.0	13.8	16.4	12.8
Estados Unidos	6.0	10.0	24.5	45.0	10.8	10.5	10.7
Europa Occidental	0.6	2.3	15.5	35.0	30.8	23.6	14.5
Resto del mundo	0.2	0.7	11.0	25.0	28.5	35.8	14.7

Fuente: Shell International Chemical Co., Ltd., citado en *Energy World*, marzo de 1974, p. 5.

La existencia de grandes reservas de petróleo y gas natural y el bajo precio de éstos en el mercado contribuyeron al extraordinario ímpetu de la industria química, en la que a partir de entonces, la rama petroquímica tuvo un lugar cada vez más preponderante. Esto se combinó con extraordinarios logros tecnológicos en el área de la síntesis química. La disponibilidad creciente de destilados ligeros, gas natural y gas de refinería, debido sobre todo al desarrollo de la refinación, propició el descubrimiento de nuevos mercados, que a su vez estimularon la investigación de nuevos usos de los productos petroquímicos. Éste es un buen ejemplo de una oferta que crea su propia demanda. Gracias a ello, los nuevos productos descubiertos (plásticos, caucho sintético, detergentes, fertilizantes, farmacéuticos, etc.) crearon mercados fáciles de explotar debido a que la materia prima era abundante y barata.

Maduración

in embargo, igual que en otras áreas de la industria manufacturera, cuando se empieza a alcanzar la madurez disminuye el ritmo de crecimiento de la producción. En el caso de la industria petroquímica debe reconocerse que este menor crecimiento coincidió con la recesión económica más severa de la posguerra —la de los setenta— y que en cierto modo se encuentra asociado con la cuadruplicación de los precios de los hidrocarburos en 1973-1974. Empero, parece claro que la causa principal de esta desaceleración es el agotamiento paulatino de las posibilidades de innovación tecnológica.

Si se considera la industria petroquímica como una parte —y a partir de los años cuarenta como una continuación— de la industria química, y se hace un seguimiento de las más importantes innovaciones tecnológicas en ambas industrias, se aprecia una situación como la reflejada en la gráfica 2. Luego de un largo y relativamente lento desarrollo durante el siglo XIX, se registró un aumento significativo en la tasa de innovación tecnológica a partir de principios de los años veinte, prolongándose aproximadamente 50 años. Sin embargo, después de mediados de los sesenta, cuando el mercado empezó a exhibir síntomas de saturación y la posibilidad de nuevos descubrimientos se redujo sensiblemente, el número de innovaciones de productos y procesos productivos inició su más rápido descenso en la historia. Por supuesto la caída fue más marcada en la innovación de productos que en la de procesos. Como apunta Utterback, esto es común a prácticamente todas las actividades industriales.⁴ La tendencia a la disminución del ritmo de las innovaciones se inició incluso antes de la llamada crisis energética. Aunque el fenómeno no implica que haya razones para no esperar un repunte de este ritmo, habrá que estar conscientes de que las posibilidades ya no son muchas.

La muestra que sirvió para elaborar la gráfica 2 incluye 149 innovaciones: 63 corresponden a productos y las restantes a nuevos procesos importantes para elaborar los productos ya existentes.⁵ Hasta 1900, las innovaciones se hicieron primordialmente en la química inorgánica o en la basada en carbón alquitranado y productos farmacéuticos. Al período 1900-1949 correspondió la mitad de las innovaciones de productos del período estudiado. A partir de 1950 la innovación de procesos representó 70% de la actividad innovadora de la industria química. La reciente disminución de las innovaciones se ha mantenido constante desde mediados de los años sesenta. Cada uno de los cinco trienios posteriores hasta 1980 registró un menor número de innovaciones que el período que le precedió.

El mejor ejemplo de madurez de esta industria es la de Estados Unidos, cuya penetración, que coincide perfectamente con las teorías del ciclo de vida del producto y de la brecha tecnológica, encontró serias dificultades para continuar avanzando en los mercados internacionales.⁶ Los trabajos pioneros de Stobaugh

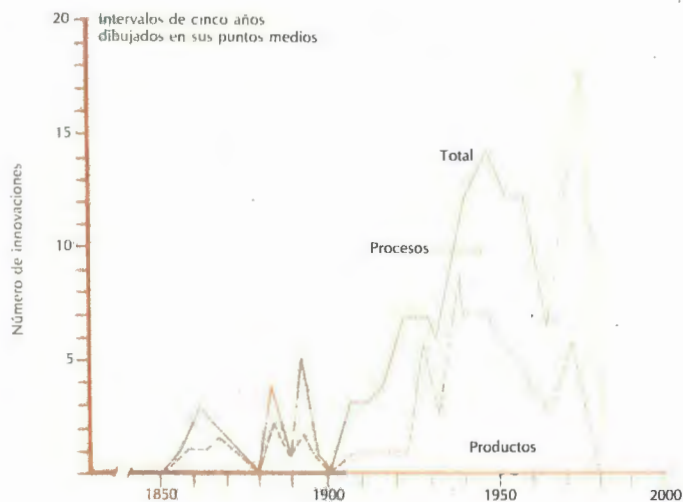
4. J.M. Utterback, "The Dynamic of Product and Process Innovation in Industry", en T. Hill y J.M. Utterback (eds.), *Technological Innovation for a Dynamic Economy*, Pergamon Press, Nueva York, 1979, p. 44.

5. Véase N.N. Hochgraf, "The Future Technological Environment", XI Congreso Mundial del Petróleo, Londres, mimeo., agosto de 1983, p. 2.

6. Respecto a las teorías del ciclo de vida del producto y de la brecha tecnológica véase Roberto Gutiérrez R., *Technological Change and Retardation in the Mexican Petrochemical Industry*, Manchester University, Manchester, 1984.

GRÁFICA 2

Innovaciones mundiales en el área de productos químicos



Fuente: N.N. Hochgraf, "The Future Technological Environment", XI Congreso Mundial del Petróleo, Londres, mimeo., agosto de 1983.

analizaron el comportamiento de nueve materiales sintéticos de este país a lo largo de aproximadamente 30 años.⁷ Sus conclusiones para el caso del polietileno de baja densidad son muy sugerentes. Como puede observarse en la gráfica 3, los puntos de inflexión en la producción y las exportaciones estadounidenses de este producto fueron en 1963 y 1962, respectivamente. Esas fechas marcan una reducción en la importancia relativa tanto de este producto como de la industria petroquímica de Estados Unidos en su conjunto. (El polietileno de baja densidad es un producto muy importante de esta industria y por ello es posible tomarlo como una variable *proxi* del comportamiento de toda la industria.) En el caso de la producción, y a pesar de que su tasa de crecimiento ascendió en términos generales hasta 1966, su volumen absoluto fue inferior a la del resto del mundo en 1963. Ello fue un resultado lógico del más rápido crecimiento de la producción que todos los países de este grupo habían tenido desde el inicio del período analizado. Por otro lado, las exportaciones de Estados Unidos se estancaron casi desde 1959, precisamente cuando las de los otros países iniciaban su ascenso impresionante.

Una segunda evidencia de la madurez de la industria petroquímica de Estados Unidos se observa en el cuadro 2, donde se presentan dos datos relevantes de algunos productos petroquímicos de primera importancia y de los segmentos industriales más significativos: el decenio en que la tasa de crecimiento de la pro-

7. R.B. Stobaugh, *The Product Life Cycle Theory, U.S. Exports, and International Investment*, tesis doctoral inédita, Harvard Business School, Cambridge, 1968, y "The Neotechnology Account of International Trade: the Case of Petrochemicals", en *Journal of International Business Studies*, otoño de 1971.

GRÁFICA 3

Producción y exportaciones de polietileno de baja densidad



Fuente: R.B. Stobaugh, "The Neotechnology Account of International Trade: The Case of Petrochemicals", en *Journal of International Business Studies*, otoño de 1971.

ducción decayó a niveles similares a los del PNB y su grado de penetración en el mercado durante 1980. La forma "S" del patrón de expansión, ampliamente estudiada por la teoría del ciclo de vida del producto, implica que el crecimiento típico de un nuevo producto, potencialmente más ventajoso en términos económicos que otros, es lento en tanto se confirman sus ventajas con respecto a aquéllos.⁸ Posteriormente, dicha tasa de crecimiento aumenta en función del remplazo que el nuevo producto hace de otros existentes en el mercado y que satisfacen las mismas necesidades. Finalmente, a medida que se agota esta capacidad de sustitución, determinada por la demanda que se satisface al sustituir productos tradicionales, la tasa de crecimiento disminuye, acercándose a los niveles de crecimiento del producto global. Cuando esto último sucede ya es posible hablar de la madurez del producto o la industria, que coincide con la maduración del proceso de penetración del producto en el mercado.

Las cifras del cuadro 2 muestran claramente que varios de los productos petroquímicos más importantes han alcanzado ya su fase de madurez, y que incluso en algunos casos se puede hablar de "despenetración". Esto último puede ser resultado de los cambios estructurales de la economía en su conjunto o de una mayor eficiencia en el uso de los productos. De esta manera parece claro que, no obstante que las perspectivas de crecimiento pudieron haber sido afectadas por el aumento de precios de los hi-

8. La forma "S" de expansión industrial, que matemática y gráficamente es el equivalente de las curvas Gompertz y logística, la introdujeron al análisis industrial Simon S. Kuznets, *Secular Movements in Production and Prices*, National Bureau of Economic Research, Houghton Mifflin, Boston, 1930; y Arthur F. Burns, *Production Trends in the United States since 1980*, National Bureau of Economic Research, Nueva York, 1934.

CUADRO 2

Maduración de la industria química estadounidense
(Productos seleccionados)

Producto	Decenio en que se alcanzó la madurez: crecimiento del producto = crecimiento del PNB	Penetración del mercado en 1980 (%)
Alcohol etílico	1955-1965	85 ^a
Acetona	1970-1980	95 ^b
Benceno	1960-1970	95
Detergentes sintéticos ¹	1965-1975	85
Fibras sintéticas ¹	1970-1980	75
Elastómeros sintéticos ¹	1970-1980	75

1. Contienen un poco de benceno alquitranado.

a. Se situó abajo de 95% en 1955-1965.

b. Llegó a 95% en 1955.

Fuente: N.N. Hochgraf, "The Future Technological Environment", XI Congreso Mundial del Petróleo, Londres, mimeo., agosto de 1983.

drocarburos en 1973-1974, la declinación en el ritmo de expansión de la industria petroquímica fue en cierto modo normal, y existen pocas posibilidades de que se le pueda revertir de manera considerable en los países industriales.

Hay muchas razones para suponer que el modelo de desaceleración industrial (*retardation*), estudiado por primera vez por Simon Kuznets y Arthur F. Burns, se adapta en gran medida a la industria petroquímica y que, como muestra la gráfica 4, en el caso de cuatro petroquímicos básicos hay una tendencia clara a mantener una tasa estable, aunque mínima, de crecimiento (curvas paralelas al eje horizontal). Esto confirma el poder explicativo de la teoría de la desaceleración industrial —al menos en el caso de algunos productos—, y demuestra la utilidad de la función logística para representar los patrones de crecimiento industrial, mediante la transposición de las cuatro curvas.⁹

Tamaño de la planta y economías de escala

El tamaño de la planta y las economías de escala son elementos relevantes de la industria petroquímica por razones bien identificadas. Dos ejemplos pueden servir para ilustrarlo. En 1971, Besson observó que en Europa el costo anual de producción de cada tonelada de etileno era de 69 dólares en una planta de 130 000 ton y de 42 dólares en una de 450 000 ton.¹⁰ En la misma línea de análisis, dos años más tarde la ONUDI cuantificó la reducción de la inversión necesaria para producir una tonelada de etileno a medida que aumenta el tamaño de la planta.¹¹ Las

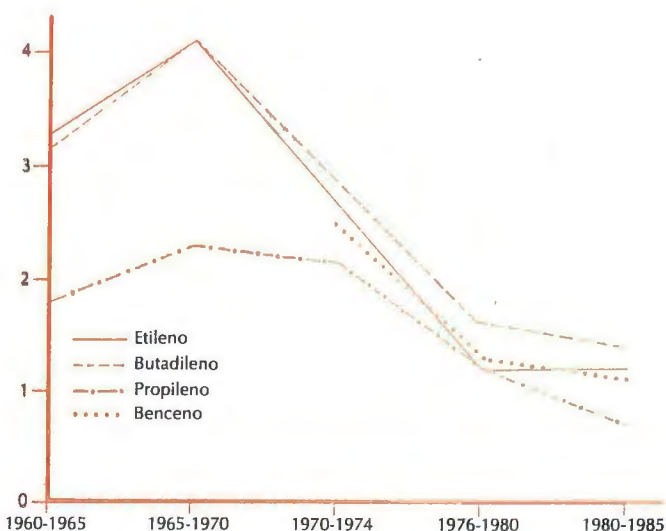
9. La transposición permite a las curvas de crecimiento porcentual de la producción adoptar la forma "S", típica del ciclo de vida de los productores industriales, originalmente estudiada por Kuznets y Burns, y posteriormente ampliada para su uso en las llamadas teorías neotecnológicas del comercio internacional por Raymond Vernon, "International Investment and International Trade in the Product Cycle", en *Quarterly Journal of Economics*, mayo de 1966.

10. V.T. Besson, "New Developments in Ethylene Production", en *Chemical Economy Engineering Review*, octubre de 1971.

11. ONUDI, *The Petrochemical Industry*, Naciones Unidas, Nueva York, 1973.

GRÁFICA 4

Países de la OCDE: crecimiento de la producción de productos petroquímicos seleccionados en relación con el crecimiento del PNB, 1960-1985 (incremento porcentual de la producción + incremento porcentual del PNB)



Fuente: OCDE, *The Petrochemical Industry*, París, 1979.

conclusiones fueron las siguientes: con una capacidad para producir 50 000 ton anuales, la inversión requerida ascendía a 220 000 dólares por tonelada; con una capacidad de 450 000 ton anuales, dicha inversión bajaba a 90 000 dólares por tonelada. Como regla general, Stobaugh afirma que "si dos plantas petroquímicas se construyeran al mismo tiempo y usaran tecnologías similares, pero una tuviera una capacidad de 2X, mientras que la de la otra fuera de X, cuando ambas operaran a su máxima capacidad la primera tendría costos de operación unitarios menores en alrededor de 30 o 40 por ciento que los de la segunda".¹²

Debe señalarse que tales economías de escala son estáticas e intrínsecas de la planta. Esto significa que el logro de dichas economías no implica ningún proceso de "aprender haciendo", ni tampoco mejoramiento alguno de las técnicas de producción. El único requisito es disponer de una mayor capacidad instalada. Tradicionalmente las economías de escala estáticas e intrínsecas de la planta han caracterizado a la industria petroquímica. Sobre esa base y teniendo en cuenta los análisis de la ONUDI es posible presentar una lista completa de las economías que esta rama obtiene a medida que aumentan sus actividades y el tamaño de su planta.

a] Los costos por transacciones relacionadas con plantas de gran escala se incrementan menos que proporcionalmente que los incrementos en el volumen de los productos comercializados. Esto se debe a los ahorros obtenidos, por ejemplo, en el trans-

12. R. Stobaugh, "The Neotechnology Account. . .", *op. cit.*, p. 92.

porte marítimo de grandes volúmenes y en el pago a los trabajadores que realizan los movimientos y el almacenamiento.

b] Una mayor producción permite utilizar tecnología avanzada, que requiere equipo especializado, una mayor relación capital-producto e incluso procesos de ensamblado en línea.

c] A medida que aumenta el producto disminuye proporcionalmente la necesidad de mantener inventarios para hacer frente a las fluctuaciones del mercado u otras eventualidades. Dicho de una manera más precisa, la existencia de inventarios por motivos de seguridad varía en proporción a la raíz cuadrada del volumen de ventas. Por supuesto, este principio opera no sólo para los inventarios, sino también para otro tipo de existencias que la empresa mantiene por motivos de seguridad, tales como dinero en efectivo para afrontar problemas de liquidez, y refacciones e instalaciones para el mantenimiento.

d] Un nivel más alto de producción implica generalmente una reducción significativa en el costo medio de muchas actividades especiales, tales como el diseño de productos, la planeación de la producción, el control de calidad, la investigación y desarrollo, etcétera.

e] Existen economías de escala propias de la empresa que se derivan de su grado de integración, ya sea vertical u horizontal, y de su poder monopólico y monopsonico.

f] Finalmente, para varios tipos de equipo indivisible el costo fijo está en función de la superficie, en tanto que el costo variable está en función del volumen. Tal es el caso de depósitos, tubería, pipas, etc. Para esta clase de equipo los costos aumentan menos que proporcionalmente respecto al aumento en su capacidad.¹³

El último punto se encuentra estrechamente relacionado con el crecimiento de la demanda, lo que significa que en países con baja tasa de crecimiento de la población, mercados externos estrechos y alta saturación del mercado interno, las perspectivas para lograr economías de escala se reducen de manera significativa.

Una forma de medir las economías de escala estáticas es el uso de la fórmula que relaciona exponencialmente los costos de la planta con su capacidad nominal de producción. La fórmula es la siguiente:

$$\frac{K_1}{K_2} = \left[\frac{S_1}{S_2} \right]^Y$$

Donde:

K_1, K_2 = Costos de capital para plantas de diferente tamaño

S_1, S_2 = Capacidades instaladas de las plantas

Y = Factor de planta ($0 < Y < 1$)

Para que las diferentes capacidades instaladas sean opciones significativas, dada la misma técnica, el factor de planta debe ser

13. ONUDI, "General Characteristics of the Petrochemical Industries and Factors Conditioning Their Development", en *Studies on Petrochemicals*, ONU, Nueva York, 1966.

CUADRO 3

Estados Unidos: relación entre el tamaño de la planta y el costo unitario del capital

Producto	Factor de planta	Factor trabajo ¹	Reducción porcentual en el costo unitario del capital al duplicarse el tamaño de la planta
Etileno	0.67	0.20	20.5
Amoniaco	0.80	0.40	8.0
Butadieno	0.65	0.22	21.6
Monómero de cloruro de vinilo	0.72	0.20	17.7
Policloruro de vinilo	0.70	n.d.	18.8
Hule estireno	0.50	n.d.	29.3
Polipropileno	0.65	n.d.	21.6

1. Calculado con el mismo principio del factor de planta, pero aplicado al trabajo:

$$\frac{L_1}{L_2} = \left[\frac{S_1}{S_2} \right]^Z$$

n.d. No disponible.

Fuente: Para las dos primeras columnas, G.C. Haufbauer, *Synthetic Materials and the Theory of International Trade*, Harvard University Press, Cambridge, 1966; para la tercera columna, M.A. Adelman y M.B. Zimmerman, "Prices and Profits in Petrochemicals: An Appraisal of Investment by Less Developed Countries", en *Journal of Industrial Economics*, junio de 1974.

de cero a uno. Un valor menor que cero significa que se recurre a una planta más grande y con menores costos de operación, incluso cuando su capacidad adicional no puede utilizarse. Un valor mayor que la unidad implica el uso paralelo de plantas pequeñas en lugar de una sola planta.

Hufbauer ha mostrado que el factor de planta para muchas instalaciones petroquímicas en Estados Unidos está casi invariablemente comprendido entre 0.5 y 1.0.¹⁴ También ha señalado que el factor trabajo tiene por lo general un valor cercano a 0.2. El análisis lo completaron Adelman y Zimmerman¹⁵ agregando información referente al efecto del tamaño de la planta en el costo unitario del capital (cuadro 3, tercera columna).

En el cuadro 3 se muestran tres características adicionales de la industria petroquímica, todas asociadas de alguna manera con el tamaño de la planta. La primera se refiere al hecho consabido de que tanto la relación capital-producto como la relación capital-trabajo de dicha industria son de las más altas de la economía, además de que tienden a aumentar a medida que crece el capital. La segunda se refiere a que, comparada con otras ramas industriales, la petroquímica (al igual que la química en su conjunto) tiene muy bajos porcentajes de mano de obra no calificada, en tanto que los de personal técnicamente bien adiestrado tienden a ser altos; el número completo de empleados es también muy bajo. La flexibilidad para sustituir factores productivos es m-

14. G.C. Hufbauer, *Synthetic Materials and the Theory of International Trade*, Harvard University Press, Cambridge, 1966.

15. M.A. Adelman y M.B. Zimmerman, "Prices and Profits in Petrochemicals: An Appraisal of Investment by Less Developed Countries", en *Journal of Industrial Economics*, junio de 1974.

nima, debido en parte a que esta rama parece tener muy pocos procesos alternativos, y a que las tecnologías principales se han desarrollado en países industriales, donde las presiones de los sindicatos son enormes, además de que el capital tiende a ser el factor abundante. La tercera característica se refiere a la inversión requerida, cuyo monto para iniciar la operación de una planta petroquímica es extraordinariamente alto. Se calcula que, a precios de 1966, la inversión necesaria por cada nuevo empleo creado en esta industria oscila entre 20 000 y 100 000 dólares, lo que significa que es una de las más altas.¹⁶

También en el cuadro 3 se observa que el factor de planta, es decir, el exponente de la expresión para determinar las economías de escala, oscila entre 0.5 y 0.8. Esto implica que cada vez que la capacidad se duplica, el costo unitario de producción aumenta entre 0.41 y 0.74. La segunda columna presenta un hecho muy difundido: las economías de escala en el factor trabajo exceden en un margen importante a las economías de escala en el factor capital. Cualquier planta química o petroquímica típica tiene un elevado número de "puntos de unión", y cada uno de ellos requiere normalmente la atención de un solo operario. Esto ocurre tanto en una planta pequeña como en una gigante. Hufbauer expresa este fenómeno de la manera siguiente: "el factor trabajo puede ser muy bajo, hasta de tres décimas, lo que es realmente pequeño. Esto implica que si se requieren 100 obreros para operar una planta con capacidad de producción de 1 000 toneladas, sólo se requerirán 160 para operar una de 5 000 toneladas."¹⁷

En efecto, una de las características mejor conocidas de las plantas petroquímicas es que sus costos fijos son muy altos, en relación con los de operación. Debido a la alta participación de los primeros en la estructura total de costos, se comprende que cualquier reducción en los costos fijos, por pequeña que sea, debe representar ahorros significativos en los costos totales. De allí la importancia de una mayor capacidad instalada.

La cuestión de la eficiencia máxima del tamaño de la planta ocupa un lugar importante en cualquier consideración sobre inversión en la industria petroquímica. La mayor proliferación de unidades gigantes obedece a la búsqueda de dicha eficiencia. Las experiencias de Europa Occidental en este renglón son muy importantes. El cuadro 4 presenta un ejemplo de ellas, con base en el caso del producto petroquímico básico más importante: el etileno. Para nadie resulta sorprendente que existan extraordinarias reducciones de los costos de producción en plantas de etileno a medida que aumenta su capacidad instalada. Debe observarse, sin embargo, que las reducciones de dichos costos son cada vez menores (véase el cuadro 5), lo que permite inferir la existencia de rendimientos decrecientes a escala, una vez que se ha alcanzado el máximo tamaño aceptable de la planta.

Debido a la nueva ola de competencia internacional que han promovido los países productores de materias primas, las plantas de etileno han alcanzado, o se espera que alcancen, escalas aún mayores. Los ejemplos más importantes son los de Arabia Saudita, con dos proyectos enormes que ya deben estar en operación: Jubail 1 (650 000 ton anuales) y Yanbú (450 000 ton anuales), y México, con dos plantas de 500 000 ton anuales: la del complejo

CUADRO 4

Capacidad instalada promedio de las plantas de etileno de Europa Occidental, 1950-1970

Periodo	Miles de toneladas por año
1950	15
1958	50
1963-1965	100
1967-1968	100-450
1969-1970	450-500

Fuente: ONUDI, *The Petrochemical Industry*, Naciones Unidas, Nueva York, 1973.

CUADRO 5

Costos de producción de etileno en Europa Occidental asociados al tamaño de la planta durante finales de los años sesenta y principios de los setenta

Capacidad de la planta (ton por año)	Costos de producción (dólares por ton)
130 000	69.0
350 000	46.0
450 000	42.0

Fuente: V.T. Besson, "New Developments in Ethylene Production", en *Chemical Economy Engineering Review*, octubre de 1971.

de La Cangrejera, que inició sus operaciones en 1982, y la de Lázaro Cárdenas, Michoacán, que en 1986 todavía se encontraba en la fase de planeación y cuya fecha para iniciar operaciones está aún indefinida.¹⁸

Si lo anterior se ve en retrospectiva, parece que además de la promoción de exportaciones de estos países y de los efectos sobre la industrialización que podrán lograrse como consecuencia de los estímulos al procesamiento de los hidrocarburos, el auge reciente de la petroquímica se debió a que en los primeros años de los setenta los requerimientos de inversión disminuyeron considerablemente. Por ejemplo, en el caso de la producción de etileno tales costos se redujeron de 220 000 dólares por tonelada en plantas con una capacidad nominal de 50 000 ton de producción anual, y alrededor de 90 000 dólares por tonelada, en plantas con capacidad de 450 000 ton anuales.¹⁹

Muy pocos de los países no autosuficientes en hidrocarburos y en una etapa intermedia de industrialización se aventuraron decididamente a producir petroquímicos; destaca Brasil, que ya ha construido plantas de etileno con capacidad de producción anual de alrededor de 450 000 toneladas.²⁰

18. Véase L. Turner y J.M. Bedore, *Middle East Industrialization*, Westmead, Saxon House, Londres, 1979; y Pemex, *Memoria de labores 1986*, México, 1987, p. 112.

19. ONUDI, *op. cit.*

20. Véase P. Evans, "Collectivized Capitalism: Integrated Petrochemical Complexes and Capital Accumulation in Brazil", en T.C. Bruneau y F.

16. C. Mercier, *The Petrochemical Industry and the Possibilities of Its Establishment in the Developing Countries*, Techni, París, 1966.

17. G.C. Hufbauer, *op. cit.*, p. 49.

Es evidente que, debido a la larga lista de economías de escala asociadas a esta industria, para otros países en desarrollo sigue siendo muy tentador participar con grandes volúmenes en la producción mundial. Esto, sin embargo, deberá limitarse a países que tengan un mercado interno suficientemente amplio o cuenten con canales de comercialización que les permitan colocar sus excedentes en el exterior. Si se trata de países pequeños y con pocos recursos para competir con fuertes productores, quizá lo mejor sería abstenerse de entrar de lleno en la producción de este tipo de bienes. Un ejemplo puede ayudar a ilustrar los riesgos para los países pequeños o pobres, y las ventajas para países grandes o ricos. La producción de hule sintético puede hacerse sin riesgo sólo si se erige una planta de al menos 18 000 ton anuales. Si se toma como hipótesis que todos los neumáticos que se consumen internamente se producen con material sintético, para absorber dicha producción se requeriría una población de 90 millones con un nivel de ingreso per cápita anual equivalente a 100 dólares. Con un ingreso de 300 o 600 dólares anuales la población requerida sería de 18 millones y 7 millones, respectivamente.²¹

Encadenamientos interindustriales y demanda de productos petroquímicos

Los encadenamientos de la industria petroquímica con otras actividades económicas son impresionantes. Esto se puede apreciar en el cuadro 6, que presenta los coeficientes de insumo y de producto de la industria química de cuatro países industriales y uno en desarrollo. Los coeficientes de insumo muestran la proporción en que varias ramas industriales, incluyendo la química, proveen los bienes y servicios destinados al consumo de las empresas que constituyen la industria química. Los coeficientes de producto muestran las proporciones en que esas empresas venden su producción a las diferentes ramas de actividad económica y a los consumidores finales, tanto nacionales como del exterior. Salta a la vista que los coeficientes de insumo más importantes son los de materias primas y productos químicos intermedios. Adicionalmente, debe notarse que la industria química es, al mismo tiempo, la más importante oferente y demandante de sí misma. Esto se debe a que en dicha rama existen procesos que involucran un gran número de pasos intermedios para la transformación de los productos. También son importantes algunos servicios como la energía y el transporte.

Los principales sectores y ramas consumidores de la industria química son, como puede corroborarse con los coeficientes de producción: agricultura y silvicultura, textiles, alimentos procesados, hule y papel. Los coeficientes varían considerablemente de un país a otro; el contraste más evidente se presenta al comparar a la India, cuyas columnas de coeficientes muestran renglones en blanco, con los países industrializados, cuyas columnas están completamente cubiertas. La razón de este contraste es perfectamente conocida: cuanto más alto es el grado de industrialización y desarrollo económico, mayores son los encadenamientos interindustriales.

En términos generales, la demanda interindustrial representa

entre un medio y dos tercios de la demanda total; el resto de ésta incluye a otros dos demandantes que no aparecen en el cuadro 6: gobierno y consumidores finales. Las ventas a estos últimos incluyen productos farmacéuticos, cosméticos, jabones, productos químicos para el hogar y materiales fotográficos.

La demanda de productos químicos individuales se basa en la mayoría de los casos en una multiplicidad de usos finales. El crecimiento de esta demanda depende, por tanto, no del crecimiento particular de dos o tres actividades industriales sino de la economía en general. Debido a las complejas interconexiones que se dan entre la generación de productos químicos, por una parte, y los productos finales, por otra, la demanda de muchos productos químicos pesados también depende en última instancia del crecimiento equilibrado de la economía. No obstante, ciertos químicos básicos pueden tener encadenamientos hacia adelante que los ligan a sólo unas cuantas actividades productivas. El sector agrícola es hasta cierto punto un ejemplo, ya que en él se observan encadenamientos muy concentrados, en particular durante las primeras etapas del desarrollo, cuando otras conexiones interindustriales no están firmemente desarrolladas. Así, los productos químicos destinados a la agricultura —por ejemplo, los fertilizantes y los plaguicidas— dependen del crecimiento de la producción agrícola. En una fase más avanzada es claro que este desarrollo también quedará supeditado al crecimiento de la tecnología moderna destinada a dicho sector, ya que ésta contribuye a la expansión de la industria química.

Recomposición de la estructura productiva y exportadora mundial

A pesar de que la industria petroquímica ya es madura, en el sentido de que en los países industriales su actividad tecnológica y su crecimiento han alcanzado niveles virtualmente equiparables a los de otras actividades, las posibilidades de su expansión en las naciones con menor grado de desarrollo son todavía grandes. En muchos de estos países el ritmo de sustitución de importaciones ha sido tan lento que la estructura de la producción y los flujos comerciales mundiales de petroquímicos tienen aún un amplio margen de maniobra. El cuadro 7 muestra que desde los años cincuenta, cuando el sector petroquímico se convirtió en el más importante de la industria química, hasta mediados de los setenta, la producción mundial de productos químicos ha estado dominada por países industriales.

Un aspecto importante es que la participación de "otras áreas", es decir, de los países en vías de desarrollo, incluyendo a China, en la producción química mundial, llegó a sólo 6.1% en 1975. Si en 1958 y 1962 aparece un mayor porcentaje, se debe a que las cifras de producción también incluyen parte de la de Europa Oriental. Los incrementos más importantes fueron, por supuesto, los de Europa Occidental, los países socialistas y Japón. Estos incrementos motivaron que la participación de Norteamérica (95% Estados Unidos y 5% Canadá) decreciera de 38.1% en 1958 a 30.2% en 1975. En este último año, Europa Occidental se convirtió en el área exportadora más importante del mundo, superando al país donde se innovaron la mayoría de los productos químicos y petroquímicos.

Corroboro lo anterior que, en un período similar al analizado,

Feucher (eds.), *Authoritarian Capitalism. Brazil's Contemporary Economy and Political Development*, Westview Press, Boulder, 1981.

21. ONUDI, *Chemical Industry, Monographs on Industrial Development*, Naciones Unidas, Nueva York, 1969, p. 28.

CUADRO 6

Coeficiente de insumo y producto de la industria química

Rama o actividad	Coeficientes de insumo $\times 10^4$					Coeficientes de producto $\times 10^4$				
	Japón	Italia	Noruega	Estados Unidos	India	Japón	Italia	Noruega	Estados Unidos	India
1. Ropa	1	0	0	0		27	97	4	98	
2. Construcción de barcos	0	0	0	0		23	5	28	5	
3. Cuero y productos	1	0	3	3		2	127	95	91	
4. Alimentos procesados	167	289	81	486	448	301	224	1 114	777	116
5. Pesca	226	0	2 102	12		4	0	53	0	
6. Molienda de granos	21	2	0	28		0	0	0	311	
7. Transporte	172	112	56	279		46	1	72	43	
8. Otras industrias	0	58	0	39		149	184	38	156	
9. Equipo de transporte	0	0	0	1		12	100	20	107	
10. Productos de hule	45	1	0	13		216	244	37	444	102
11. Textiles	40	49	12	64		1 676	1 206	116	600	776
12. Maquinaria	5	0	0	7		65	69	33	334	131
13. Hierro y acero	63	6	199	118		15	122	50	124	36
14. Productos minerales no metálicos	73	52	20	74		94	104	35	75	71
15. Madera	19	8	21	36		39	40	73	53	21
16. Química	2 361	3 534	1 972	2 090	1 887	2 361	3 534	1 972	2 090	1 887
17. Imprenta y publicidad	18	0	1	12		53	68	26	71	
18. Agricultura y silvicultura	581	235	830	901	237	1 440	967	1 094	622	633
19. Minerales no metálicos	53	182	125	144	279	5	19	14	15	
20. Productos del petróleo	14	135	177	157		21	50	1	126	
21. Metales no ferrosos	199	152	35	128		33	67	89	53	
22. Minería de metales	106	106	9	40	a	19	34	13	15	
23. Productos del carbón	234	128	27	86		16	7	0	10	
24. Comercio	268	216	296	225		0	40	1	92	
25. Papel y sus productos	452	62	423	260	50	105	293	190	145	163
26. Electricidad	198	401	158	66	59	12	0	0	2	
27. Minería del carbón	293	85	49	58	135	53	7	4	38	54
28. Servicios	311	373	84	417	181	502	162	349	312	
29. Petróleo y gas natural	0	10	0	19		0	0	0	15	
30. Total interindustriales	6 123	6 193	6 682	5 737		7 306	7 381	5 565	6 839	
31. Demanda final	—	—	—	—	—	3 128	3 162	6 421	3 649	
32. Producción total	5 853	4 678	1 299	1 356		10 000	10 000	10 000	10 000	
33. Importaciones	254	630	258	66		434	943	1 986	487	
34. Oferta total	6 107	7 308	1 557	1 422		10 434	10 943	10 986	11 487	

a. Incluido en el total de 279 de minerales no metálicos.

Fuente: *Techniques of Sectoral Economic Planning: The Chemical Industries*, Naciones Unidas, Nueva York, 1966.

CUADRO 7

Producción y comercio mundiales de productos químicos
(Miles de millones de dólares)

Área	1958		1962		1975			
	Producción	%	Producción	%	Producción	%	Exportaciones	Importaciones
América del Norte	23.1	38.1	29.0	38.8	92.0	30.2	8.6	3.1
Europa Occidental ^a	12.8	21.1	17.1	22.9	95.0	31.2	16.1	5.6
Europa Oriental y la URSS ^b	5.1	8.5	7.0	9.4	65.0	21.3	1.9	3.8
Japón	1.4	2.3	2.9	3.9	34.1	11.2	5.2	1.6
Subtotal	42.4	70.0	56.0	75.0	286.1	93.9	31.8	14.1
Otros ^c	18.2	30.0	18.7	25.0	18.5	6.1	2.2	19.9
Total	60.6	100.0	74.7	100.0	304.6	100.0	34.0	34.0

a. Las cifras de 1958 y 1962 sólo incluyen a Francia, Italia, la RFA y el Reino Unido.

b. En 1958 y 1962 se incluye únicamente la URSS.

c. En 1958 y 1962 se incluyen: países en vías de desarrollo, China y Europa del Este; para 1975 se incluyen: países en desarrollo y China.

Fuentes: Basado en F.N. Baumgartner y P.L. Richards, "Recent Trends in World Petrochemical Industry", en *Studies in Petrochemicals*, Naciones Unidas, Nueva York, 1966, para 1958 y 1962, y "Chemicals", en *The Economist*, suplemento del 7 de abril de 1979, para 1975.

CUADRO 8

Estructura de la producción de los cuatro bloques petroquímicos básicos en los países de la OCDE

	1960				1973			
	Etileno	Propileno	Butadieno	Benceno	Etileno	Propileno	Butadieno	Benceno
Estados Unidos	76.2	74.0	79.4	69.0	42.3	36.3	45.5	44.4
Europa Occidental	21.3	26.0	18.7	25.0	40.3	40.9	36.6	37.2
Japón	2.5	—	1.9	6.0	17.4	22.8	17.9	18.4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: ONUDI, *The Petrochemical Industry*, Naciones Unidas, Nueva York, 1973.

Estados Unidos perdió terreno frente al resto de los países de la OCDE en la producción de los cuatro bloques básicos de la industria petroquímica. La pérdida de su participación fue de 34 puntos porcentuales en el caso del etileno, 38 en el propileno, 34 en el butadieno y 25 en el benceno (véase el cuadro 8).

Hasta mediados de la década de los setenta, la producción se redistribuyó casi únicamente entre los países industriales. Los menos desarrollados permanecieron como espectadores pasivos, de tal forma que se constituyeron en los principales importadores, con una amplia brecha tecnológica con respecto a los desarrollados. Los importantes cambios en los precios de los hidrocarburos en aquellos años, que hicieron posible la explotación masiva de las reservas de petróleo y gas de algunas áreas y que incrementaron el ingreso disponible de ciertos países que tradicionalmente habían sido importantes exportadores de crudo, abrieron nuevos horizontes a la industria petroquímica mundial.

El segundo grupo de países reconocido por la teoría del ciclo de vida del producto, es decir, los países en vías de desarrollo, comenzó a aparecer en escena.²² El producto favorito para introducirse fue el etileno, puesto que se podía producir con base en el gas natural, del que dichos países tenían ricas reservas, a pesar de que hasta entonces las habían dejado escapar a la atmósfera. Esto tuvo dos implicaciones en la industria petroquímica mundial. Primero, una mayor aceleración en el proceso de maduración de dichos productos en los países más desarrollados, donde los costos de producción se incrementaron significativamente, y segundo, la reorientación de la actividad tecnológica hacia la sustitución de la materia prima tradicional: el petróleo crudo.

Muchas plantas se vieron forzadas a cerrar sus puertas a principios de los ochenta, puesto que la amplia difusión de las tecnologías involucradas y la alta tasa de ganancia en esta actividad habían estimulado en años anteriores la aparición de un número excesivo de oferentes. A pesar de que muchos especialistas²³ desde mediados de los setenta habían sugerido a los potenciales inversionistas abstenerse de invertir más dinero en esta industria, un gran número de plantas entró en operación tanto en Europa Occidental como en Europa Oriental. Otros proyectos se inicia-

ron en países en desarrollo, principalmente en exportadores de petróleo. De acuerdo con la tecnología que obtuvieron se clasifican en tres grupos:

a) Los que avanzaron gracias a esfuerzos tecnológicos propios, como Argentina, Brasil, la India, México y Singapur;

b) los que recurrieron a la adquisición de licencias de empresas extranjeras y que, o bien las pagaban mediante acuerdos de venta del producto final, como fue el caso de la mayoría de los acuerdos firmados por países de Europa Oriental con países de Europa Occidental, o bien construían plantas asociados con las empresas extranjeras, como fue el caso de Arabia Saudita, y

c) los que recurrieron a concesiones absolutas por parte de empresas extranjeras, por lo menos para la edificación de los complejos (los llamados "acuerdos de llave en mano"), como fue el caso de Irán y algunos países del norte de África.

Los bajos costos de las materias primas, aunados al crecimiento de la población y a un proceso acelerado de industrialización, favorecieron las perspectivas de demanda global y de mejor aprovechamiento de la capacidad instalada de los países en desarrollo. Así, por ejemplo, en el caso del etileno la producción de estos países en 1990 podría incrementarse a 18.4% del total mundial, frente a 8.2% en 1976 (véase el cuadro 9).

Perspectivas y conclusiones

De acuerdo con las tendencias señaladas, y tomando en cuenta los postulados de la teoría del ciclo de vida del producto, los países industriales contribuirán al desarrollo de la industria petroquímica en las naciones menos avanzadas, fundamentalmente con tecnología, planeación estratégica y habilidad empresarial. Excepto en los países con avances tecnológicos propios, los proyectos los llevarán a cabo empresas transnacionales, ya sea de la rama química o de la del petróleo.

Hay una gran posibilidad de integrar hacia adelante la industria petroquímica, la cual, a pesar de su madurez en los países desarrollados, deberá responder de manera dinámica a las altas tasas de innovación tecnológica que se registrarán en otros sectores. Este proceso revertirá la situación que se presentó en los decenios recientes, cuando los productos petroquímicos propiciaron importantes logros en otras áreas, como la fabricación de automóviles, productos farmacéuticos, materiales sintéticos, etc. Por otra parte, a pesar de los esfuerzos proteccionistas de corto

22. Dicha teoría establece que normalmente las innovaciones se efectuarán en un país desarrollado; posteriormente las imitan el resto de los países industriales, y por último las naciones menos desarrolladas. Véase Roberto Gutiérrez R., *Technological Change . . .*, op. cit., cap. 1.

23. Por ejemplo M.A. Adelman y M.B. Zimmerman, op. cit.

CUADRO 9

Etileno: demanda mundial y capacidad instalada. Situación actual y proyecciones
(Miles de toneladas anuales)

	1976				1990 ¹			
	Demanda	(%)	Capacidad	(%)	Demanda	(%)	Oferta	(%)
Estados Unidos	10 200	35.5	13 160	35.2	23 600	31.6	23 930	32.0
Resto de América	1 160	4.0	1 550	4.1	5 300	7.1	5 982	8.0
Europa Occidental	9 980	34.8	13 280	35.6	22 000	29.4	19 443	26.0
Europa Oriental	2 400	8.4	2 710	7.2	8 000	10.7	8 259	11.0
Japón	3 770	13.1	5 140	13.8	7 400	9.9	8 259	11.0
Asia-Pacífico	1 040	3.6	1 310	3.5	4 080	5.4	4 487	6.0
Medio Oriente-África	180	0.6	240	0.6	4 400	5.5	4 487	6.0
OPEP-Medio Oriente	25 ^b	—	25 ^b	—	2 800 ^b	—	—	—
Arabia Saudita	—	—	—	—	1 500 ^b	—	—	—
Irán	25 ^b	—	25 ^b	—	200-600 ^b	—	—	—
OPEP-África del Norte	—	—	—	—	600 ^b	—	—	—
Total	28 730	100.0	37 390	100.0	74 780	100.0	74 847^a	100.0

1. Cálculos más recientes sitúan la demanda en 15 millones de toneladas anuales en Estados Unidos y 12 millones en Europa Occidental. Véase N.N. Hochgraf, "The Future Technological Environment", XI Congreso Mundial del Petróleo, Londres, mimeo., agosto de 1983.

a. La cifra de demanda se ajustó bajo el supuesto de que en 1990 no habrá exceso de capacidad o de oferta.

b. Estimaciones. No se incluyen en la suma.

Fuentes: Con base en L. Turner y J.M. Bedore, *Middle East Industrialization*, Westmead, Saxon House, Londres, 1979, para las dos columnas de demanda y la primera de capacidad instalada; y "Chemicals", en *The Economist*, suplemento, 7 de abril de 1979, para la segunda columna de capacidad instalada.

plazo de algunos países en el sector de la petroquímica básica, puede esperarse que la comercialización mundial de dichos productos tenga un gran dinamismo de largo plazo. El mercado estuvo muy deprimido durante los primeros tres años de la década de los ochenta y muchas plantas ineficientes fueron forzadas a cerrar sus puertas. Durante ese lapso se observó una clara lucha por la supervivencia del más fuerte. A pesar de esta experiencia, hay razones para suponer que, no obstante la lentitud del cambio tecnológico, durante algunos años esta industria crecerá a niveles no muy distintos de los históricos. Los primeros síntomas de tal recuperación se observaron a principios de 1984, cuando el precio de las acciones de la industria química en escala mundial aumentó 40% respecto a igual período del año anterior. Esto trajo como resultado que la tasa de beneficios se incrementara de 8.7% en 1982 a 22.9% en 1983.²⁴

La conclusión de lo anterior es que los productores de petroquímicos pueden esperar buenos tiempos en el mediano plazo. En cierto modo, los mayores beneficios corresponderán todavía a los países industriales, que incorporarán muchas de las innovaciones pendientes. En plazo más largo, las perspectivas para los nuevos países exportadores parecerían no ser tan difíciles como Adelman y Zimmerman, por una parte, y Turner y Bedore, por otra, sugirieron en sus trabajos.²⁵ Se espera que estos países reengan la ventaja que le brindan sus bajos costos de producción: sus reducidos sueldos y salarios y su gran disponibilidad de materia prima. Esto, aunado a la madurez tecnológica de la industria y al conocimiento más o menos generalizado de los procesos productivos, deberá permitir que aumenten su participación en el mercado mundial.

Un campo de integración hacia adelante que deberá estimular las exportaciones de estos países es el procesamiento de la información electrónica, puesto que millones de nuevas máquinas brindan oportunidades para la venta de algunos polímeros y productos químicos especiales. Un segundo ejemplo —y por supuesto existen muchos de este tipo— es el de los automóviles, cuya tecnología y materiales empleados parecen estar en vísperas de transformaciones radicales, que incluyen la transición hacia la sustitución de metales por plásticos; el grado de avance de aquella ya es muy grande. Así, la difusión de la tecnología que permite la elaboración de autos que son casi en su totalidad de plástico habrá de llevarse a cabo rápidamente en los años futuros. Por supuesto que estas nuevas tecnologías economizarán muchos recursos. Por ejemplo, el volumen de hidrocarburos requerido en forma de energía y materia prima para elaborar una cantidad determinada de plásticos está muy abajo de la que se necesita para producir volúmenes similares de acero, cobre y aluminio (véase el cuadro 10).

Las perspectivas favorables de largo plazo de la mayoría de los productos petroquímicos parece que no serán afectadas, ni siquiera por aumentos posibles en los precios de la materia prima principal. Esto se explica porque, aun en el caso de que se llegara a registrar una nueva alza en los precios de los hidrocarburos, todavía podría realizarse un gran número de innovaciones de procesos productivos. Existen muchas razones para esperar que esto suceda; entre ellas, considérense las dos siguientes:

a] Los costos de capital del polietileno de baja densidad en Estados Unidos se han reducido extraordinariamente durante los últimos años gracias a que se logró reducir a la centésima parte las presiones requeridas en el proceso productivo;

b] nuevas plantas de baja presión han sido instaladas por diferentes empresas petroquímicas para aprovechar el método ante-

24. Véase *The Economist*, 28 de enero de 1984.

25. M.A. Adelman y M.B. Zimmerman, *op. cit.*; y L. Turner y J.M. Bedore, *op. cit.*

CUADRO 10

Intensidad en el uso de energía para producir diferentes metales y productos plásticos

<i>Energía y materia prima requeridas para producir un kilogramo de:</i>	<i>Kilogramos de petróleo crudo equivalente</i>
Aluminio	15
Cobre	11
Acero	8
Náilon	4
Estireno	2
Poliestireno	2
Polietileno de alta densidad	1.75
Policloruro de vinilo	1.5
Polipropileno	1.5
Polietileno de baja densidad	1.25
100 sacos de papel para empacar fertilizantes	39
100 sacos de polietileno de baja densidad para empacar fertilizantes	35
100 metros de manguera de presión con diámetro de 25 mm producida de:	
acero	500
cobre	96
polietileno de alta densidad	38
100 metros de tubería de drenaje (con diámetro de 100 mm) producida con:	
metal	1 970
arcilla	275
policloruro de vinilo	154
100 botellas de un litro producidas con:	
vidrio	23
polietileno	12
policloruro de vinilo	8

Fuente: BASF (*The Economist*, 3 de noviembre de 1979, p. 72), citado por L. Turner, "Petrochemicals", en L. Turner y N. McMullen (editores), *The Newly Industrializing Countries: Trade and Adjustment*, Allen & Unwin, Londres, 1982.

rior, lo que ha permitido aplicarlo exitosamente en procesos como los del metanol, el óxido de propileno y el monómero de estireno.²⁶

Respecto de tal dinámica de la tecnología de procesos, algunos observadores aseguraron desde finales de la década de los setenta que "los 10 o 12 años próximos estarán caracterizados por dos tendencias de la industria. Una será a ofrecer productos con más alto valor agregado, los cuales llenarán el vacío dejado por la contracción en la tasa de crecimiento del volumen de muchos petroquímicos. La segunda será a proporcionar más servicios vinculados con sus productos. La década de los ochenta será la era de los servicios de la industria. Tomemos un ejemplo: el rociado indiscriminado de plaguicidas y herbicidas se ha tornado en la actualidad altamente costoso en términos ecológicos. Debido a esto, las empresas químicas enfocarán su tecnología hacia la elaboración de agroquímicos específicos destinados a controlar el crecimiento de ciertos cultivos en determinadas áreas geográficas. Lo anterior implica prestar enormes cantidades de servicios al consumidor en este campo."²⁷

26. L. Turner, "Petrochemicals", en L. Turner y N. McMullen (eds.), *The Newly Industrializing Countries: Trade and Adjustment*, Allen and Unwin, Londres, 1982.

27. "Chemicals", en el suplemento de *The Economist* del 7 de abril de 1979.

Otra área que con toda probabilidad será cubierta por la era de los servicios es la mercadotecnia, pues ya desde ahora muchas empresas químicas se encuentran vendiendo sus conocimientos a otras. Sin embargo, la gran revolución deberá sobrevenir como resultado de grandes logros y descubrimientos dentro de las áreas de ingeniería genética y bioquímica. Esto reafirmará el hecho de que ya no serán las innovaciones propias de la industria petroquímica las que estimulen su propio crecimiento, sino aquellas que ocurran en áreas nuevas, con alto poder de penetración, conectadas a la petroquímica.

Por largos períodos, y en diferentes países, el ritmo de expansión de la industria petroquímica ha superado hasta cinco veces la tasa de crecimiento del ingreso nacional. Esto, junto con el aumento de los precios de la materia prima en los setenta, ha provocado dos importantes cambios en esta industria. El primero se refiere a la velocidad de su tasa de crecimiento, que se contrajo sensiblemente a partir de entonces, aunque tal tendencia se observaba desde casi 10 años antes. El segundo se refiere a la composición estructural de la exportación mundial de productos petroquímicos. Tal como lo establece la teoría del ciclo de vida del producto, y a pesar de ciertas actitudes proteccionistas recientes, el liderazgo exportador ha empezado a moverse de los innovadores a los seguidores, principalmente a aquellos con excedentes de gas natural y petróleo. Como lo establece la teoría del agotamiento de la expansión industrial, la contracción en la tasa de crecimiento de la industria petroquímica se observó después de un período de penetración dinámica y de descensos progresivos en el ritmo de crecimiento de la innovación tecnológica.

Debido a su proceso de maduración, la tecnología de la industria petroquímica se ha difundido ampliamente en el mundo. A ello han contribuido no sólo las corporaciones transnacionales, sino también los esfuerzos individuales de imitación tecnológica para sustituir importaciones. Debido a este proceso, después de haber sido eminentemente oligopólica, esa industria tendió en cierta medida a la competitividad. Así, en la actualidad se compete más en precio que en innovación del producto u otro subterfugio oligopólico. Los costos de producción se han convertido en algo esencial para tener éxito en esta actividad. Parece claro que la nueva ley de esta industria es el principio darwiniano de la supervivencia del más fuerte. La popularidad de la petroquímica es tal que sólo países cuyos mercados no garantizan un mínimo de economías de escala o cuya producción de hidrocarburos es insignificante, no han comenzado a invertir en dicha actividad.

Por último debe tenerse en cuenta que algunos de los países con suficientes reservas de hidrocarburos parecen estar decididos a promover la expansión de esta industria a la mayor brevedad posible, con el objeto de destinar al mercado externo sus excedentes. Las consecuencias aparentes de esto, desde el punto de vista tecnológico, son dos: los ciclos de vida de sus industrias petroquímicas podrían acortarse con respecto a los ciclos observados en los países industriales, y nuevos países imitadores podrían incorporarse muy pronto al escenario exportador, lo que tal vez limitaría las posibilidades de los países que buscan actualmente colocar sus productos en los mercados del mundo. Desde el punto de vista comercial también es posible que se recrudezca la competencia y que en el corto plazo se depriman los precios; sin embargo, no hay que perder de vista que ya es necesario empezar a planear para un mercado mundial mucho más activo que el actual, el cual responderá a la reactivación económica de los años futuros. □