

NACIONES UNIDAS

CONSEJO  
ECONOMICO  
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.11/L.17  
19 de diciembre de 1962

ORIGINAL: ESPAÑOL

SEMINARIO SOBRE PROGRAMACION INDUSTRIAL

Patrocinado conjuntamente por la Comisión Económica para América Latina, el Centro de Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas y la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica, con la cooperación de los grupos ejecutivos de la industria brasileña (GEIA, GEIMAPE, GEIMET, GEIN), de la Confederação Nacional da Indústria, y de la Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

São Paulo, Brasil, 4 al 15 de marzo de 1963

ECONOMIAS DE ESCALA EN LA INDUSTRIA QUIMICA

Documento preparado por la Secretaría de la CEPAL

Nota: En su versión actual este documento - que es de circulación limitada y que está pendiente de revisión editorial - se presenta exclusivamente como material de discusión para los fines del Seminario. Antes de su distribución posterior como documento público, la Secretaría podrá incorporar cambios de forma y fondo, conforme lo aconsejen su revisión más detenida y las sugerencias que pudieran emanar de las propias discusiones del Seminario.

100-100000-100000

100-100000-100000

100-100000-100000

100-100000-100000



100-100000-100000

100-100000-100000

100-100000-100000

100-100000-100000

100-100000-100000

100-100000-100000

### Introducción

Es conocida la tendencia demostrada por la industria química y otras industrias de procesos al aumento del tamaño de las instalaciones de producción con el fin de disminuir sus costos medios. Junto con el crecimiento de la capacidad de las unidades de producción se acentúa la economía en el uso de recursos tales como capital invertido por unidad de producción y mano de obra utilizada.

Es, sin embargo, difícil expresar este comportamiento en una forma aplicable al conjunto de actividades que constituyen la industria química, midiendo a la vez el efecto sobre las economías de capital y su repercusión en los costos de producción. La diversidad que caracteriza al grupo de industrias químicas exige en efecto el examen de un gran número de casos antes de establecer criterios aplicables al nivel de la programación sectorial. Es aún frecuente que el solo medio de obtener tales criterios sea el estudio de proyectos preliminares de implantación referidos a actividades específicas.

Se presenta aquí un intento de aplicación de una metodología sistemática a un grupo de industrias químicas, con el objeto de determinar el alcance de las economías de escala en este grupo de actividades. Los resultados obtenidos poseen un carácter aproximado, pero confirman la viabilidad del método utilizado. Son susceptibles de representar en forma somera la cuantía de las economías de escala en todo el sector de industrias de procesos químicos y constituyen la base para ulteriores ampliaciones al resto de las actividades químicas.

El método seguido en este trabajo se fundamenta en el examen de los costos de capital - inversiones - por una parte, y en el análisis de los costos de producción. Esto último se efectuó mediante una serie de cálculos de costos basados en las funciones de producción, o perfiles industriales, reunidas para un estudio anterior de las aptitudes regionales para el desarrollo de la industria química.<sup>1/</sup> En el mismo documento

1/ E/CN.12/628 "La industria química en América Latina", CEPAL, Vol. I y II.

fueron planteados algunos problemas relativos a las economías de escala y a su influencia sobre las aptitudes relativas de los diversos países en cuanto a sus posibilidades de desarrollar industrias químicas destinadas a abastecer una parte sustancial del futuro mercado regional. Este aspecto fue medido a través del examen de cuatro tipos de industrias químicas tomando en cuenta la estructura de costos de factores de cada localización estudiada, es decir superponiendo el efecto de economía de escala a las ventajas de tipo externo propias a cada localidad. Por el contrario en este trabajo se han separado los efectos de economía de escala de toda interferencia producida por cambios regionales en los insumos con el objeto de medir exclusivamente los cambios introducidos en los requerimientos de capital y en los costos de producción por las variaciones de tamaño de plantas químicas.

#### Resumen y conclusiones

El análisis de las economías de escala en la industria química se efectuó a través de 18 actividades representativas para las cuales se disponía de informaciones relativamente extensas, especialmente en relación al monto total de las inversiones requeridas a diversas escalas de producción.

En la primera parte de este trabajo se han reunido los resultados en cuanto a economías de capital y economías de escala en los costos de producción. En la parte II, dedicada a tratar cada uno de los casos estudiados, se presentan brevemente las aplicaciones y el proceso de fabricación del producto, las inversiones unitarias a diversas escalas y la variación de los costos de acuerdo a las mismas escalas. Se mencionan especialmente los casos en que la existencia de alternativas tecnológicas debe ser considerada. Finalmente en la parte III se incluyen gráficos derivados de los cálculos de costos y del costo de capital, en los que se ilustran las economías de escala para cada uno de los procesos considerados.

Las conclusiones que fluyen de este análisis inciden por una parte sobre la heterogeneidad del comportamiento de las industrias químicas, y por otra sobre la validez, limitada a rangos de capacidad definidos en forma somera, de ciertos valores medios de economía de escala en el capital calculables mediante procedimientos simplificados.

Sobre una muestra de 18 producciones típicas en que se ha tratado de incluir actividades tan diversas como la fabricación de polietileno, cal, butadieno, ácido sulfúrico y etileno, se presenta una dispersión de valores que plantea dudas sobre la posibilidad de aplicar criterios medios a actividades químicas tratadas genéricamente, sin identificar proyectos específicos, como sería el caso al generalizar al nivel de "industrias químicas" situaciones en que éstas sólo estarán representadas por un número muy limitado de proyectos.

Por otra parte es posible tratar en forma genérica las economías de escala alcanzables en la inversión para plantas químicas, siempre que ello se refiera a rangos de capacidad definidos y acordes con las características tecnológicas de cada producto o grupos de actividades semejantes, como pueden ser las industrias "petroquímicas", la de fertilizantes, la de plásticos, etc. Al respecto puede establecerse una economía de escala de 20 por ciento a 45 por ciento al triplicarse una planta de capacidad determinada, cifra que será variable según el tipo de industria química. La posibilidad de agrupar las industrias químicas en torno a ciertas categorías, en cada una de las cuales se produjeran economías de escala características es real, pero la determinación precisa de tales categorías requiere analizar una muestra más extensa que la tratada en este trabajo.

Las economías de escala en los costos de producción presentan un problema semejante, agravado por la variabilidad de la incidencia en los costos de aquellos factores que aportan realmente economías de escala: mano de obra y rubros directamente relacionados con ella y cargas de capital. En efecto, la incidencia de estos rubros varía no sólo en función de la cuantía de las inversiones unitarias y su relación con el valor del producto (turn-over) sino que refleja indirectamente la mayor o menor importancia del costo de los elementos proporcionales como materias primas y servicios; así una misma estructura de empleo de mano de obra e intensidad de capital conduce a resultados diversos según si las materias primas de esa actividad particular son productos intermedios de valor elevados - como será el caso en ciertos plásticos, resinas básicas para fibras sintéticas, etc. - o productos minerales de bajo costo y derivados directos del petróleo o gas natural. En el segundo caso se tendrán economías de escala en los costos de producción más fuertes que el primer tipo de actividad.

En la muestra analizada se encuentran así extremos que presentan economías de escala en los costos relativamente elevadas - 15 a 40 por ciento - mientras que en otros casos éstas son bajas y no sobrepasan un 10 por ciento para aumentos en las capacidades que pueden llegar al triple o quintuple de la escala de referencia.

Puede observarse otra conclusión aplicable a la mayor parte de los productos químicos básicos y es la que dice relación con el tramo de capacidades en que se alcanzan las mayores economías de escala. Estas se presentan en los niveles bajos de capacidad y aumentan lentamente de valor al pasar a plantas de capacidad mediana para tender finalmente a un límite máximo pasadas las capacidades altas. Fundamentalmente este comportamiento deriva de la existencia de problemas de indivisibilidad de partes del equipo de procesamiento, a los niveles inferiores de capacidad considerados y luego al límite técnico en el tamaño de los equipos para el otro extremo del rango: plantas de capacidad mayor que la realizable a base de aumentos en el tamaño de los componentes principales del equipo. En cierto modo esta situación hace más sensibles a las economías de escala las plantas de pequeña capacidad, correspondientes en general al nivel nacional de la demanda en los países menores de América Latina, y menos sensibles en las plantas cuya capacidad se acercara a las demandas internas totales en los países de mercado más extenso.

/I

I

1. Industrias químicas, definición, alcances

El numeroso conjunto de procesos industriales usualmente englobado bajo la denominación "industrias químicas" no presenta fronteras bien definidas. La división de las actividades industriales entre industrias mecánicas e industrias de procesos se fundamenta en el predominio que tiene para las primeras la transformación efectuada mediante el uso de elementos mecánicos, mientras que en las segundas predomina la transformación íntima de las materias utilizadas, a través de operaciones químicas, o físico-químicas. En consecuencia pertenecen al segundo grupo todas aquellas actividades en las cuales el producto final difiere, en cuanto a su composición, de las materias primas originales.

Esta definición, eminentemente tecnológica, incluye entre las industrias de procesos actividades tan diversas como la siderúrgica, industrias alimenticias, vidrio, cerámica y muchas otras, además de las propias "industrias de productos químicos". Tradicionalmente se ha reservado el empleo del término "industrias químicas" a las actividades que elaboran intermediarios o productos finales cuyo proceso de obtención es fundamentalmente un proceso de transformación química. Así limitado, el campo que aún cubre la industria química es vasto: la clasificación norteamericana ("Chemical and Allied Products", Bureau of Standards, Codc. 28 000) posee 96 subdivisiones mayores que incluyen no menos de 8 000 productos químicamente distintos; sin embargo, el solo grupo de productos de la "química del carbono" incluía en 1956 más de 800 000 entidades diferentes (Grignard).

Semejante diversidad de productos dificulta la adopción de criterios generales aplicados a este grupo de industrias. Otro factor de disparidad lo constituye el empleo de numerosos procesos y operaciones de distintas características tecnológicas.

A pesar de las múltiples diferencias que distinguen a las industrias químicas entre sí, el grupo presenta ciertos rasgos comunes, al menos a la mayor parte de los procesos químicos. Estos son: la continuidad del proceso de fabricación, la homogeneidad del producto fabricado, el uso

/intensivo de

intensivo de capital, el uso de mano de obra relativamente calificada y en proporción muy inferior a la usual en otros sectores (industria textil, mecánica, etc.), el empleo de instalaciones auxiliares generalmente importantes, la existencia de alternativas tecnológicas - ya sea en cuanto al proceso o en cuanto a la sustitución de materias primas - la tendencia a la renovación rápida de sus técnicas, etc. Consecuencia del uso intensivo de capital, de la utilización continua de los equipos de fabricación y de la constante renovación de su tecnología, es la existencia de economías de escala apreciables en las industrias de procesos químicos. A pesar de su creciente concentración, su integración avanzada y su tendencia al aumento continuo de las escalas de producción, características de los productos químicos básicos, existen numerosas fabricaciones que operan plantas pequeñas y cuya existencia se justifica por la complejidad de las tecnologías involucradas, la incidencia elevada de factores intangibles (know-how, soluciones originales ante situaciones especiales de mercado o de recursos) y por la infinita gama de especialidades y formulaciones químicas. Así es factible la convivencia de industrias de tamaños muy diversos al amparo de situaciones especiales, ya sea en cuanto al mercado o a la tecnología utilizada o simplemente por la aplicación de diversos criterios en cuanto a investigación, políticas de reinversión y de renovación de equipos, etc. Este aspecto facilita en cierto modo la entrada al mercado de empresas pequeñas o medianas capaces de competir frente a las ya establecidas. Otro aspecto que introduce dificultades en la comparación de dos industrias químicas semejantes, es la posibilidad existente para muchos procesos químicos, de modificar entre ciertos límites la obtención de subproductos, disponiendo así de un apreciable grado de flexibilidad frente a situaciones locales. Esta posibilidad constituye un factor de importancia en gran parte de los procesos llamados petroquímicos.<sup>2/</sup>

El examen de las economías de escala en la industria química exige por lo tanto el análisis de una muestra mínima, suficientemente representativa, a partir del cual es posible adelantar criterios generales, relativamente válidos para el resto del grupo.

---

<sup>2/</sup> Ejemplo de ello se encuentra en los procesos más recientes para la obtención de etileno, acetileno, butadieno, etc.

## 2. Economías de capital en la industria química

Una característica común a la industria química y a las industrias de procesos es la disminución de las inversiones unitarias - "inversión por tonelada anual de capacidad" - a medida que crece el tamaño de sus instalaciones. La relación entre el costo de dos plantas de diferente tamaño no es directamente proporcional a sus respectivas capacidades de producción; la relación es variable para diferentes procesos, pero en general sigue una función exponencial del tipo:

$$\left(\frac{E_1}{E_0}\right)^\alpha = \frac{C_1}{C_0}$$

en que  $E_0$  y  $E_1$  representan dos capacidades de producción (o escala) diferentes, y  $C_0$  con  $C_1$  representan las inversiones totales necesarias en ambos casos. El exponente (alfa), llamado usualmente factor de capital, presenta variaciones entre diversos procesos y para un mismo producto varía de acuerdo al intervalo de capacidades examinado. La posibilidad de caracterizar un proceso químico a través de un valor constante de (alfa), aplicable a cualquier tamaño de planta, es discutible y en la práctica queda demostrada la existencia de valores diversos de alfa en el tramo inferior de las capacidades conocidas.<sup>3/</sup>

Este hecho señala la existencia de fuertes economías de escala en la zona de las capacidades de producción pequeñas; ello ocurre debido a la imposibilidad de dimensionar ciertos elementos de los equipos de procesos por debajo de ciertos límites técnicamente realizables (intercambiadores de calor, bombas, agitadores, filtros, columnas de destilación) lo que impone una capacidad relativamente excesiva en ciertos componentes del equipo. Para capacidades de producción superiores el exponente (alfa) tiende a normalizarse, adoptando un valor característico para el proceso, hasta alcanzar un nuevo nivel de capacidades en el cual algunos elementos del equipo de proceso deben comenzar a duplicarse por haber alcanzado el límite de las dimensiones unitarias realizables. En esta zona el factor de capital aumenta de valor y tiende a la unidad.

<sup>3/</sup> Entre los primeros trabajos publicados sobre el factor de capital en algunas industrias químicas, están los de C. Chilton (1950, C. Engineering).

Con el objeto de caracterizar las economías de escala en la industria química se han examinado las inversiones para 18 procesos químicos, a diversos niveles de capacidad. Los factores de capital obtenidos en esta muestra varían entre 0.5 y 0.8 y las economías características entre 22 por ciento y 40 por ciento, al pasar de una escala de producción nominal,  $E_0$  <sup>4/</sup> a una escala triple,  $E_3$ . Las inversiones se refieren a plantas instaladas e incluyen por lo tanto sus componentes materiales (equipos de proceso instalados, edificios, facilidades auxiliares, etc.) y los gastos de diseño, ingeniería, montaje y en general los "overheads" usuales; equivalen al concepto de costo "turn key" para plantas completas, no integradas en complejos industriales que puedan aportarles alguna economía adicional, especialmente en concepto de instalaciones generales comunes. Estas inversiones representan en consecuencia sólo una cifra alzada susceptible de variaciones apreciables debidas a condiciones locales de costos de mano de obra, o productividad de la misma, condiciones topográficas y de abastecimiento, etc. Cabe advertir que estos aspectos introducen diferencias de importancia entre diversos países para plantas semejantes en su capacidad de producción. Asimismo el grado de perfección aportado a instalaciones relativamente secundarias, como el tipo de construcción en laboratorios, oficinas, etc., o servicios destinados al personal, contribuye igualmente a dificultar comparaciones entre las inversiones correspondientes a dos o más plantas de igual capacidad.

Los valores más probables de inversiones a las diversas capacidades se expresaron como inversión unitaria, es decir costo de capital por tonelada de capacidad anual. Estos fueron llevados a los gráficos representativos de cada actividad (parte III, gráficos I a XVIII). En cada una se estableció una capacidad de referencia, o escala de referencia  $E_0$ , y las inversiones unitarias a otras capacidades se compararon con ella,

---

<sup>4/</sup> La escala de producción adoptada como término central de comparación,  $E_0$ , se ha llamado más adelante escala de referencia o escala base y corresponde aproximadamente al criterio de "tamaño económico" para cada uno de los casos examinados.

expresando las diferencias en porcentos de la inversión unitaria -  $I_0$  - de referencia. La secuencia de actividades analizadas se ordenó de acuerdo a este porcentaje de economía en las inversiones para una triplicación de la capacidad  $E_0$  obteniéndose el resultado, señalado ya, de economías variables entre 22 y 40 por ciento de  $I_0$ . En el cuadro I adjunto se presentan los valores de Economía de Escala para esta relación de capacidades (de  $E_0$  a  $E_3$ ), junto con el valor de la inversión de referencia  $I_0$ , la capacidad absoluta de producción a la escala de referencia  $E_0$  y el exponente de capital en el tramo  $E_0 - E_3$ . En los gráficos anexos, así como en los valores citados en el cuadro II se pueden apreciar las variaciones en el costo de capital para intervalos de capacidades mayores; en algunos de los ejemplos éstos cubren una relación de 1.20 entre los tamaños mínimos y máximos para los cuales se puede establecer una estimación razonable del monto de las inversiones.

En el cuadro I se ordenaron las economías de escala en las inversiones de acuerdo a su valor porcentual decreciente, agrupando los casos en tres categorías: aquellos en que la disminución del monto unitario de inversión es superior al 35 por ciento de la original ( $I_0$ ); luego los casos en que las economías quedan comprendidas entre 25 y 35 por ciento y finalmente las actividades en que la economía es inferior al 25 por ciento de la inversión original.

Debe admitirse que estos valores índices de la magnitud de la economía realizable en las inversiones, al triplicarse la capacidad de referencia, reflejan en parte el criterio de selección de esta última: así en el caso de los extremos, que corresponden al isopropanol y al ácido sulfúrico, se han escogido escalas de referencia que son ya relativamente elevadas (caso del sulfúrico: 100 ton/día) o, por el contrario, bajas como en el caso del isopropanol: 6 000 ton/año para una actividad de tipo básico asociada al petróleo. En otros términos, si se adoptara como escala de referencia para el ácido sulfúrico una planta del tipo usual en América Latina, de unas 30 a 50 ton/día, las economías de inversión al pasar a plantas de 90 a 150 ton/día sobrepasaría el 17 por ciento calculado llegando a más de 20 por ciento.

**Cuadro I**  
**INVERSIONES UNITARIAS, ECONOMIA DE ESCALA Y FACTOR DE CAPITAL**

Actividades	Porcentaje de economía de escala en la inversión por ton/año a/	I <sub>0</sub> Inversión unitaria de referencia	E <sub>0</sub> Miles de ton/año escala de referencia	Exponente <i>L</i> b/
Alcohol isopropílico	43	242	6.0	0.5
Carburo de calcio	41	167	15.0	0.5 - 0.6
Cloruro de polivinilo	38	285	6.0	.55
Oxido de calcio	38	34	15.0	.58
Butadieno	38	600	10.0	.59
Acetileno (de carburo)	37	71	4.88	.60
Acetaldehido (de acetileno)	37	100	20.0	.60
Negro de humo	37	300	10.0	.58 - .60
Etileno	35	570	10.0	.54
Dióxido de titanio	34	1 200	5.0	.61
Urea	31	85	33.0	.67
Acetileno (gas)	30	465	13.6	.67
Estireno	23	280	10.0	.76
Polietileno	22	492	8.13	.87
Metanol	22	444	10.0	.78
Cloro-soda	22	340	16.5	.76 - .80
Amoníaco	22	139	36.0	.73
Acido sulfúrico	17	18	36.0	.80

a/ Igual a  $\frac{I_0 - I_3}{I_0} \times 100$

donde:

I<sub>0</sub> = Inversión por ton año a la escala E<sub>0</sub>

I<sub>3</sub> = Inversión por ton año a la escala 3E<sub>0</sub>

b/ Válido en el intervalo E<sub>0</sub>-E<sub>3</sub>:  $\left(\frac{E_3}{E_0}\right)^L = \frac{C_3}{C_0}$  donde C<sub>3</sub> y C<sub>0</sub> corresponden a la inversión total.

/Atendiendo para

Atendiendo para los casos examinados a la curva Inversión unitaria vs. capacidad de planta puede establecerse el rango de capacidades, a partir de un cierto nivel económicamente justificable, en el cual la economía de escala es sensible.

Los productos examinados y el intervalo de efectiva economía de escala se enumeran a continuación:

isopropanol	2 000 - 30 000 ton/año
carburo de calcio	5 000 - 60 000 ton/año
cloruro p. vinilo	2 500 - 40 000 ton/año
óxido de calcio	5 000 - 100 000 ton/año
butadieno	5 000 - 60 000 ton/año
acetileno de carburo	2 000 - 20 000 ton/año
acetaldehído	10 000 - 60 000 ton/año
negro de humo	4 000 - 30 000 ton/año
etileno (de nafta)	10 000 - 60 000 ton/año
dióxido de titanio	4 000 - 30 000 ton/año
urea	16 000 - 165 000 ton/año
acetileno (de gas natural)	10 000 - 45 000 ton/año
estireno	5 000 - 50 000 ton/año
polietileno (alta presión)	6 000 - 12 000 ton/año
metanol	5 000 - 60 000 ton/año
cloro-soda	6 000 - 35 000 ton/año
amoníaco	18 000 - 180 000 ton/año
ácido sulfúrico	10 000 - 100 000 ton/año

La capacidad mencionada en primer término coincide aproximadamente con la que se acepta como mínima, con la latitud que aporta la intervención de factores específicos a cada localización. En el mismo cuadro se indican los valores del exponente  $\alpha$ , o factor de capital para el intervalo señalado. Con la excepción del polietileno - caso que se analiza más adelante al tratar cada actividad - éstos siguen una cierta correlación con el valor de la economía de capital obtenible al pasar a la escala de producción triple.

### 3. Economías de escala en los costos de producción

En términos generales el costo total de un producto químico incluye los siguientes elementos:

- i) costo de manufactura, al nivel de la planta;
- ii) gastos de gestión y administración, al nivel de la empresa;
- iii) gastos de venta y de distribución;
- iv) gastos de investigación y desarrollo.

Para determinar el efecto de las escalas de fabricación en los costos se tomaron en consideración solamente los componentes del primer grupo, es decir, los costos incurridos en la fabricación al nivel de la planta. En los cálculos efectuados se sistematizó el tratamiento dado a la muestra de actividades, a las diversas escalas de producción, a través del empleo del siguiente esquema básico:

- A - costos relativos al capital invertido;
- B - costos relacionados con la mano de obra y otros de menos incidencia;
- C - costos de materias primas y materiales de consumo.

Los tres rubros - A, B y C - se utilizaron para establecer la estructura típica del costo de cada producto, resumida en el cuadro II (columnas 4 a 6).

En el primer rubro se incluyen: depreciación, calculada de acuerdo a la vida útil probable de cada planta tipo y a la permanencia del producto en el mercado y reduciendo a un porcentaje global, sobre la inversión total, variable entre 6 y 10 por ciento; intereses y seguros, se estimaron en un mínimo uniforme de 5 y 1 por ciento respectivamente siendo aceptable en primer análisis la hipótesis de un interés mínimo sobre la inversión como costo inevitable (sea capital propio o servicio de créditos). No se pretende incluir en este rubro los beneficios de carácter comercial que la actividad pudiera generar.

Bajo el segundo ítem, B, se incluyen principalmente mano de obra, supervisión, y un porcentaje de ambos para cubrir gastos generales. Igualmente se incluyeron estimaciones basadas en la magnitud de la inversión destinadas a cubrir los gastos de mantención, cuyo destino es en gran parte

Cuadro II

## ECONOMÍAS DE ESCALA EN 18 INDUSTRIAS QUÍMICAS

Capacidad (miles ton/año)	Inversión (dóla- res/ ton/año)	Costo de producción				Economías de escala en los costos de producción						
		Total (dólares/ ton)	Distribución del costo			Economía total		Distribución, en porcentajes del costo a E <sub>0</sub>				
			A %	B %	C %	En dólares/ tonelada	En porcien- tos del costo a E <sub>0</sub>	A %	B %		C %	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
<u>Carburo de calcio</u>												
5.0	292	184.51	25.3	29.5	45.2	-64.00	-53.1	-16.6	-17.5	-5.7	-13.9	
15.0(E <sub>0</sub> )	167	120.51	22.2	22.0	55.8	-	-	-	-	-	-	
30.0	117	94.64	19.8	17.7	62.5	25.87	21.5	6.6	5.8	2.2	6.9	
100.0	82	73.16	17.9	12.4	69.7	47.95	39.3	11.3	10.5	4.0	13.5	
200.0	76	71.25	17.1	12.5	70.4	49.96	41.0	12.1	10.4	4.2	14.9	
<u>Alcohol isopropílico</u>												
6.0(E <sub>0</sub> )	242	92.42	33.3	28.7	38.0	-	-	-	-	-	-	
12.0	167	71.64	29.6	21.3	49.1	20.78	22.5	10.3	5.5	6.7	-	
30.0	107	56.66	24.0	14.0	62.0	35.76	38.7	18.5	8.8	11.4	-	
<u>Cloruro de polivinilo (PVC)</u>												
2.5	480	375.56	17.9	27.6	54.5	-85.22	-29.3	-9.8	-9.2	-10.3	-	
6.0(E <sub>0</sub> )	285	290.34	13.3	16.3	70.4	-	-	-	-	-	-	
20.0	170	250.46	9.5	8.8	81.7	39.88	13.7	5.1	3.9	4.7	-	
40.0	129	237.14	7.6	6.1	86.3	53.20	18.3	7.0	5.1	6.2	-	
<u>Oxido de calcio</u>												
5.0	52	34.93	20.8	55.4	23.8	-10.20	-41.3	-10.2	-14.2	-16.9	-	
15.0(E <sub>0</sub> )	34	24.73	19.2	47.2	33.6	-	-	-	-	-	-	
30.0	25	18.43	19.0	36.0	45.0	6.30	25.5	5.1	9.4	10.0	-	
100.0	15	12.99	16.2	19.9	63.9	11.74	47.5	10.8	16.9	19.8	-	
200.0	11.5	11.91	13.5	16.8	69.7	12.82	51.8	12.7	17.9	21.2	-	
<u>Butadieno</u>												
10.0(E <sub>0</sub> )	600	239.41	35.1	18.6	46.3	-	-	-	-	-	-	
20.0	450	201.25	31.3	13.6	55.1	38.25	16.0	8.8	3.3	3.9	-	
40.0	337.5	177.49	26.5	11.1	62.4	61.92	25.9	15.5	4.4	6.0	-	
<u>Acetileno de carburo</u>												
4.88(E <sub>0</sub> )	71	264.97	3.2	6.4	90.4	-	-	-	-	-	-	
19.20	40	251.64	1.9	3.0	95.1	13.03	4.9	1.4	2.0	1.5	-	
20.80	34	249.99	1.6	2.5	95.9	14.98	5.7	1.4	2.3	2.0	-	
<u>Acetaldehído de acetileno</u>												
10.0	140	206.20	9.5	12.3	78.2	-15.36	-8.0	-2.9	-2.1	-3.0	-	
15.0	117	197.49	8.0	10.4	81.6	-6.65	-3.5	-1.0	-0.8	-1.7	-	
20.0(E <sub>0</sub> )	100	190.84	7.3	8.2	84.5	-	-	-	-	-	-	
30.0	83	184.45	6.3	6.3	87.4	6.39	3.3	1.2	0.8	1.3	-	
60.0	63	177.82	5.0	4.3	90.7	13.02	6.8	2.7	1.6	2.5	-	
<u>Negro de humo</u>												
4.0	575	186.87	43.1	26.6	30.3	-56.54	-43.4	-26.3	-7.1	-10.0	-	
7.0	386	143.44	39.0	21.4	39.6	-13.11	-10.1	-7.5	-0.6	-2.0	-	
10.0(E <sub>0</sub> )	300	130.33	35.4	21.0	43.6	-	-	-	-	-	-	
25.0	208	104.11	29.0	16.5	54.5	26.22	20.1	12.3	3.2	4.6	-	
50.0	160	90.95	24.8	12.5	62.7	39.98	30.7	18.3	5.2	7.2	-	
<u>Etileno</u>												
10.0(E <sub>0</sub> )	570	184.73	46.3	21.8	31.9	-	-	-	-	-	-	
20.0	413	144.79	42.8	17.9	39.3	39.94	21.6	12.7	2.4	5.4	1.1	
60.0	250	104.61	35.8	13.9	50.3	80.12	43.4	26.0	3.9	10.1	3.4	
<u>Dióxido de titanio</u>												
5.0(E <sub>0</sub> )	1 200	481.09	34.9	25.7	39.4	-	-	-	-	-	-	
20.0	700	338.63	28.9	15.1	56.0	142.46	29.6	14.6	6.7	8.3	-	
50.0	500	292.40	23.9	11.2	64.9	188.69	39.2	20.4	8.0	10.8	-	

/Cuadro II (conclusión)

Cuadro II (conclusión)

Capaci- dad (miles ton/ año)	Inver- sión (dóla- res ton/ año)	Economías de escala en los costos de producción									
		Costo de producción				Economía total		Distribución, en porcentajes del costo a E <sub>o</sub>			
		Total (dólares/ ton)	Distribución del costo			En dólares/ tonelada	En porcien- tos del costo a E <sub>o</sub>	A %	B %		C %
(1)	(2)	(3)	A %	B %	C %	(7)	(8)	(9)	Mano de obra %	Otros	(12)
<u>Urea</u>											
16.5	109	73.89	20.7	20.2	59.1	9.73	-15.2	-5.2	-5.8	-4.2	-
33 (E <sub>o</sub> )	65	64.16	18.5	13.3	68.2	-	-	-	-	-	-
82	63	58.53	15.5	9.8	74.7	5.63	8.8	4.4	2.3	2.1	-
165	50	54.28	12.9	6.6	80.5	9.88	15.4	7.6	4.0	3.8	-
246	47	53.22	12.4	5.5	82.1	10.94	17.1	8.3	4.6	4.2	-
330	44	52.41	11.8	4.8	83.4	11.75	18.3	9.0	4.9	4.4	-
<u>Acetileno (gas natural)</u>											
13.6 (E <sub>o</sub> )	465	198.44	32.8	15.2	52.0	-	-	-	-	-	-
27.2	376	176.28	29.9	11.7	58.4	22.16	11.2	6.4	1.9	2.9	-
45.0	320	165.62	27.0	10.7	62.3	32.82	16.5	10.2	2.3	4.0	-
<u>Estireno</u>											
5.0	300	282.96	17.8	17.9	64.3	-32.68	-13.1	-4.5	-4.2	-4.4	-
10.0 (E <sub>o</sub> )	280	250.28	15.7	11.6	72.7	-	-	-	-	-	-
25.0	224	231.82	13.5	8.0	78.5	18.46	7.4	3.1	2.0	2.3	-
70.0	177	220.91	11.2	6.4	82.4	29.37	11.7	5.8	2.6	3.3	-
<u>Polietileno</u>											
3.50	714	330.00	31.5	21.5	47.0	-63.00	-23.5	-12.1	-5.9	-5.5	-
8.13 (E <sub>o</sub> )	492	267.00	26.7	15.3	50.0	-	-	-	-	-	-
12.00	417	249.60	24.2	13.6	62.2	17.40	6.5	4.1	1.0	1.4	-
24.00	383	240.45	23.1	12.6	64.3	26.55	9.9	5.9	1.9	2.1	-
48.00	360	233.50	22.4	12.1	65.5	33.50	12.6	7.2	2.7	2.7	-
<u>Metanol</u>											
10.00 (E <sub>o</sub> )	444	107.35	53.8	21.1	25.1	-	-	-	-	-	-
30.48	345	85.14	52.5	15.9	31.6	22.21	20.7	12.1	3.9	4.7	-
60.00	288	75.60	49.5	14.9	35.6	31.75	29.5	19.8	4.4	5.3	-
<u>Cloro - soda</u>											
6.6	442	157.38 <sub>a/</sub>	42.1	31.8	26.1	-35.51	-29.1	-12.6	-9.4	-7.1	-
16.5 (E <sub>o</sub> )	340	121.87	41.9	24.5	33.6	-	-	-	-	-	-
26.4	307	112.02	41.1	22.2	36.7	9.85	8.1	4.1	2.1	1.9	-
66.0	254	97.76	39.0	19.0	42.0	24.11	19.8	10.6	4.1	5.1	-
<u>Amoniaco (gas natural)</u>											
18	178	59.44	41.9	30.8	27.3	13.04	-28.1	11.8	6.8	9.5	-
36 (E <sub>o</sub> )	139	46.40	41.9	23.1	35.0	-	-	-	-	-	-
102	108	37.63	37.9	18.9	43.2	8.77	18.9	11.2	2.6	5.1	-
180	89	34.16	36.5	16.0	47.5	12.24	26.4	15.1	4.0	7.3	-
<u>Acido sulfúrico</u>											
10	25	24.68	12.2	50.7	37.1	-8.94	-56.8	-5.3	-22.6	-28.9	-
18	21	18.89	13.3	38.1	48.6	-3.15	-20.0	-2.3	-7.8	-9.9	-
36 (E <sub>o</sub> )	18	15.74	13.7	28.0	58.3	-	-	-	-	-	-
100	15	13.47	13.4	18.6	68.0	2.27	14.4	2.3	5.2	6.9	-
300	12	11.91	12.1	10.9	77.0	3.83	24.3	4.6	8.4	11.3	-

a/ Costo referido a 1 ton cloro más 1.14 ton soda cáustica.

/el pago

el pago de salarios; finalmente se agregó en este ítem la cifra correspondiente a intereses sobre capital de trabajo, carga que se calculó en forma mínima como suficiente para cubrir los gastos directos de fabricación en un período de un mes; la incidencia de este último rubro es baja, en parte por el período corto adoptado, y no alcanza en general a significar más de un 0.5 a 0.8 por ciento del costo total de producción.

Finalmente el ítem C, incluye los costos de materias primas, servicios, materiales de consumo adicionales (aditivos menores, catalizadores, solventes, etc.) y costos eventuales de licencias estipuladas a base de un valor fijo por unidad producida. En este grupo se reúnen, en resumen, los gastos no susceptibles de variaciones relacionadas con la magnitud de la planta, al menos en primera aproximación y debido al empleo de coeficientes tecnológicos supuestos constantes a lo largo del rango de capacidades analizado. Una excepción a esta simplificación se introdujo en uno de los casos tratados - el carburo de calcio - en que la magnitud de la instalación incide en forma previsible sobre el rendimiento de los insumos principales; energía eléctrica, coque y, en menor grado, cal. En el cuadro II se observa esta incidencia sobre el ítem C para el caso mencionado y, en menor cuantía para el caso del etileno en el que se observaron economías menores al nivel de consumos de vapor, combustibles y energía. Sin embargo es preciso retener que este tipo de economías es frecuente en los procesos químicos y contribuye a las ventajas en cuanto a costo de operación, observables en plantas de gran tamaño; si no se incluyó en forma sistemática en los demás casos analizados ello se debe en primer término a la dificultad de precisar con cierta exactitud estas alteraciones, que se originan incluso en modificaciones menores de diseño, sin perder el aspecto general de este análisis.<sup>5/</sup>

Los coeficientes tecnológicos aplicables a cada proceso examinado, así como los criterios de porcentajes destinados a cubrir gastos generales,

---

<sup>5/</sup> En líneas generales la metodología seguida se discute en el documento E/CN.12/628/Add.3, Anexo I, 1 - Costos de producción, y es en todo similar a la adoptada en ese trabajo (Comparación regional de aptitudes para el desarrollo de la Industria química) para los cálculos de costos.

/mantención, etc.

mantención, etc. coinciden, salvo excepcionales rectificaciones de menor alcance, con los utilizados en un reciente trabajo <sup>6/</sup> y se encuentran citados en uno de sus anexos.

Los costos directos de producción así calculados y su estructura se resumen en el cuadro II.

Establecidos los costos a las diversas escalas consideradas, las economías se expresaron en porcentos del costo unitario base, a la escala  $E_0$  de referencia, tanto a las escalas superiores a  $E_0$ , como, en algunos casos, para escalas menores en que la diferencia es un mayor costo señalado con signo negativo.

En los gráficos (parte III) se incluyeron las curvas características obtenidas para los costos unitarios y se llevaron las economías de escala en porcentos de  $E_0$  como referencia adicional.

La discusión de resultados por productos se expone en la parte II.

En cuanto a la valorización de los elementos del costo ella fue hecha uniformemente con valores medios, que no reflejan ninguna situación particular, y que básicamente son los siguientes:

- mano de obra directa \$1/hombre.hora con inclusión de recargos sociales
- supervisión, \$3, en idénticas condiciones
- energía eléctrica: \$6/M.kWh, para actividades electroquímicas y \$10/M.kWh, para las demás
- vapor, a su costo de combustible \$1.37/ton
- agua refrigeración \$5/M m<sup>3</sup>  
tratada \$25/M m<sup>3</sup>
- azufre \$30/ton
- calizas \$3/ton
- sal \$3/ton
- coque \$25/ton
- cloro \$50/ton
- acetileno \$250/ton
- aceites para negro de carbono \$22.16/ton
- ilmenitas \$22/ton

<sup>6/</sup> Ibid., Anexo II, Tecnología.

- naftas (para etileno) \$ 19.8/ton
- etileno (para polietileno y estireno) \$110/ton
- combustibles \$1.71 M. Cal para fuel  
\$0.22 M. Cal para gas natural
- ácido sulfúrico \$22/ton
- propileno 100% \$30/ton
- butanos \$30/ton
- amoniaco (para urea) \$60/ton
- benceno (para estireno) \$80/ton

En general es dificultoso establecer generalizaciones sobre el efecto de economías de escala en los costos de producción debido a la ya mencionada disparidad entre las actividades consideradas; en efecto ellas no constituyen una muestra homogénea desde el punto de vista de la estructura del costo sino que reflejan precisamente el carácter específico de cada industria química.

Puede sin embargo establecerse una división entre aquellas actividades en que los costos se ven fuertemente influenciados por las escalas de fabricación y aquellas en que las diferencias son prácticamente no significativas (casos del acetileno a partir de carburo, o del acetaldehído). Para una gran mayoría de las actividades consideradas es posible que la significación de las economías de escala como criterio de localización se vea compensada por ventajas en los factores externos: costos de materias primas y energía, de transportes, etc., y aún otros factores indirectos relativos a problemas de calificación de mano de obra. Papel preponderante juegan en estas industrias las ventajas inherentes a la integración de una serie de actividades en torno a un centro común de atracción (sea este mercado o fuente primaria de abastecimiento: refinería, gasoducto, central de energía eléctrica, u otra). Situaciones como éstas introducirán economías, para el complejo químico, que revisten mayor importancia que la capacidad absoluta de sus componentes.

Consideradas aisladamente las industrias químicas de la muestra estudiada acusan sin embargo una reducción promedia en sus costos unitarios que alcanza frecuentemente un 30 a 40 por ciento del costo de referencia,

/para aumentos

para aumentos en la escala de producción que van de la triplicación de la capacidad base hasta su quintuplicación.

La variación de la mano de obra, en su incidencia en el costo, se destaca en el cuadro III adjunto, en el que se indican los índices relativos a cada escala de producción considerada. De éstos se aprecia una tendencia general a una disminución rápida del ítem mano de obra, factor que constituye la mayor parte de la economía de escala en el ítem B de los costos de producción, como se aprecia en el cuadro general de resultados, cuadro II; en las columnas 10 a 13 se indican en efecto la participación de los principales rubros del costo en la economía porcentual señalada en la columna 9.

Con el objeto de examinar separadamente la incidencia de las economías de escala en las cargas financieras, se seleccionaron siete de los 18 procesos analizados, determinando para cada uno de ellos el costo directo de operación (operative cost) constituido por los rubros materias primas y servicios, mano de obra directa e indirecta, gastos generales de planta y mantención. El resto de los componentes del costo de producción, relacionado con la magnitud de las inversiones incluye provisiones para amortizaciones (6 a 10 por ciento de la inversión inicial, anualmente), seguros e intereses (6 por ciento de la inversión en total).

El resultado para la muestra de 7 productos se presenta en el cuadro IV y en él se destacan el rápido descenso de las cargas financieras por unidad de producto, (columna 3) que alcanza en general el 60 a 70 por ciento de su valor a la escala de referencia, para aumentos en la capacidad de cuatro a cinco veces el tamaño base. En esta situación se encuentran actividades como la producción de negro de carbono, butadieno, etileno, y en menor grado el amoníaco. Otro grupo, constituido por actividades del tipo ácido sulfúrico, cloro-soda y polietileno (alta presión) acusan un menor descenso del rubro cargas de capital: al 75/80 por ciento del correspondiente a la escala base, para similares aumentos en el tamaño de las instalaciones.

El rubro costo directo de operación acusa un menor descenso, atribuible en casi todos los ejemplos examinados a la disminución de "mano

Cuadro III  
 VARIACION DE LA MANO DE OBRA CON LA ESCALA DE FABRICACION  
 EN 18 ACTIVIDADES QUIMICAS

Productos	Escala Miles de ton/año	Mano de obra directa por tonelada <u>Indices</u> E <sub>0</sub> = 100
Alcohol isopropilico	<u>E<sub>0</sub> = 6.0</u>	100
	12.0	50
	30.0	20
Carburo de calcio	5.0	216
	<u>E<sub>0</sub> = 15.0</u>	100
	30.0	60
	100.0	27
Cloruro de polivinilo	2.5	240
	<u>E<sub>0</sub> = 6.0</u>	100
	20.0	43
	40.0	25
Oxido de calcio	5.0	200
	<u>E<sub>0</sub> = 15.0</u>	100
	30.0	67
	100.0	30
Butadieno	200.0	25
	<u>E<sub>0</sub> = 10.0</u>	100
	20.0	50
Acetileno de carburo	40.0	31
	<u>E<sub>0</sub> = 4.88</u>	100
	19.20	25
Acetaldehido de acetileno	28.80	23
	10.0	160
	15.0	133
	<u>E<sub>0</sub> = 20.0</u>	100
	30.0	67
Negro de humo	60.0	40
	4.0	250
	7.0	143
	<u>E<sub>0</sub> = 10.0</u>	100
Dióxido de titanio	25.0	80
	50.0	50
	<u>E<sub>0</sub> = 5.0</u>	100
	20.0	30
	50.0	15

## Cuadro III (Cont.)

Productos	Escala Miles de ton/año	Mano de obra directa por tonelada <u>Indices</u> E <sub>0</sub> = 100
Urea	16.5	200
	<u>E<sub>0</sub> = 33.0</u>	100
	82.0	68
	165.0	39
	246.0	15
	330.0	
Etileno	<u>E<sub>0</sub> = 10.0</u>	100
	20.0	68
	60.0	27
Acetileno de gas natural	<u>E<sub>0</sub> = 13.6</u>	100
	27.2	57
	45.0	48
Estireno	5.0	200
	<u>E<sub>0</sub> = 10.0</u>	100
	25.0	67
	70.0	48
Poli-etileno (alta presión)	3.5	194
	<u>E<sub>0</sub> = 8.13</u>	100
	12.0	68
	24.0	57
	48.0	51
Metanol (gas natural)	<u>E<sub>0</sub> = 18.0</u>	100
	30.5	46
	60.0	33
Cloro-soda	6.6	194
	<u>E<sub>0</sub> = 16.5</u>	100
	26.4	69
	66.0	56
Amoníaco (gas natural)	18.0	201
	<u>E<sub>0</sub> = 36.0</u>	100
	108.0	57
	180.0	43
Acido sulfúrico	10.0	271
	18.0	151
	<u>E<sub>0</sub> = 36.0</u>	100
	100.0	36
	300.0	21

Cuadro IV

ECONOMIAS DE ESCALA EN COSTOS DE PRODUCCION

Producto	Escala	Capacidad Miles ton/año	Costo directo de operación		Cargas financieras		Costo total	
			US\$/ton	%E <sub>o</sub>	US\$/ton	%E <sub>o</sub>	US\$/ton	%E <sub>o</sub>
1) Negro de humo	E <sub>o</sub>	10.0	84.13	100	46.20	100	130.33	100
	E <sub>i</sub>	25.0	73.87	88	30.24	65	104.11	80
	E <sub>ii</sub>	50.0	67.95	81	22.40	48	90.35	69
2) Amoníaco	E <sub>o</sub>	36.0	26.94	100	19.46	100	46.40	100
	E <sub>i</sub>	108.0	23.35	87	14.28	73	37.63	81
	E <sub>ii</sub>	180.0	21.70	81	12.46	64	34.16	74
3) Acido sulfúrico	E <sub>o</sub>	36.0	13.58	100	2.16	100	15.74	100
	E <sub>i</sub>	100.0	11.67	86	1.80	83	13.47	86
	E <sub>ii</sub>	300.0	10.47	77	1.44	67	11.91	76
4) Butadieno	E <sub>o</sub>	10.0	155.41	100	84.00	100	239.41	100
	E <sub>i</sub>	20.0	138.16	89	63.00	75	201.16	84
	E <sub>ii</sub>	40.0	130.53	84	46.96	56	177.49	74
5) Etileno	E <sub>o</sub>	10.0	99.23	100	85.50	100	184.73	100
	E <sub>i</sub>	29.0	82.84	83	61.95	72	144.79	78
	E <sub>ii</sub>	60.0	67.11	68	37.50	44	104.61	57
6) Polietileno	E <sub>o</sub>	8.13	195.42	100	71.34	100	266.76	100
	E <sub>i</sub>	12.0	189.12	97	60.47	85	249.59	94
	E <sub>ii</sub>	48.0	181.27	93	52.20	73	233.47	88
7) Cloro-soda	E <sub>o</sub>	16.5	70.87	100	51.00	100	121.87	100
	E <sub>i</sub>	26.4	65.97	93	46.05	90	112.02	92
	E <sub>ii</sub>	66.0	59.66	84	38.10	75	97.76	80

de obra" e ítems relacionados, y que, en general, es del orden del 20 por ciento para aumentos en la capacidad de producción base que fluctúan entre cuatro y seis veces.

Dado que la ponderación de los rubros "cargas de capital" y "costo directo de operación" es muy variable entre los diversos productos analizados, la economía de escala total en los costos de producción difiere en mayor grado entre los 18 productos que constituyen la muestra total examinada, situación que se puede apreciar en el cuadro general (II) y en los comentarios y gráficos relativos a cada producto.

## II

Carburo de calcio

El carburo de calcio es utilizado casi exclusivamente como fuente de acetileno, tanto para industria química como para usos industriales (soldadura, etc.) iluminación. Como intermediario ha tenido cierta importancia en la producción de cianamida cálcica (abono nitrogenado) y en tratamientos de aceros.

Producción: actividad asociada a la electro-metalurgia requiere considerable energía eléctrica y se localiza en función del costo de esta última. Se le obtiene por acción del carbono (coque) sobre el óxido de calcio a elevada temperatura (arco eléctrico). Generalmente el óxido de calcio (cal viva) es producido en la misma planta. La capacidad de los hornos de carburo se expresa en función de su potencia eléctrica, siendo aproximadamente necesarios 2 900 kW a 3 000 kW instalados por tonelada de producción horaria.

Se estiman actualmente <sup>7/</sup> como "pequeñas" las instalaciones basadas en hornos de 2 000 a 10 000 kW, equivalentes a una capacidad de producción anual de 15 000 a 75 000 toneladas; como medianas las plantas equipadas con hornos de 10 a 20 mil kW 80 000 a 160 000 ton/año, y como máximas, las de 38 000 kW de potencia 240 000 ton/año.

a) Inversiones

Se establecieron a base de diversas fuentes y casos conocidos y cubren el intervalo 5 000 toneladas a 200 000 ton/año. La relación entre el incremento de capacidad y el costo de las instalaciones presenta una acentuada variación en el rango de 5 000 ton/año a 30/50 mil ton/año, con un factor de capital variable entre 0.5 y 0.7; más allá de 50 000 ton/año el factor tiende a 0.70-0.80 y finalmente, por sobre las 100 000 ton/año de capacidad; tiende a 0.90. Este comportamiento se explica por la cuantía de las inversiones relacionadas con las instalaciones generales y de servicios en torno al horno eléctrico mismo y cuyos costos no disminuyen sensiblemente al descender el tamaño de planta por debajo de las 30 000 toneladas; además el

---

<sup>7/</sup> De un estudio sobre la industria en Japón: "Carbide Ind. in Japan", Carbide Ind. productivity Study team, I.C.A., Japan Productivity Center, 1961.

costo de construcción de los hornos eléctricos es poco proporcional a su capacidad al menos en los niveles menores de capacidad.

La escala adoptada como referencia es de 15 000 ton/año y corresponde al tipo de instalación promedia en América Latina (Argentina: tres plantas con un total de 53 000 ton/año; Brasil, dos productores con una capacidad instalada de 35 mil toneladas; Chile: hornos de 4 000 ton/año).

Las inversiones, por tonelada de capacidad anual, son:

5 000 toneladas	\$ 292	100 000 toneladas	\$ 82
15 000 toneladas	\$ 167	200 000 toneladas	\$ 76
30 000 toneladas	\$ 117		

Las economías en el intervalo considerado, a partir de 15 000 ton/año, alcanzan un 50 por ciento de la inversión unitaria base, para una capacidad quintuple, es decir aproximadamente 75 000 ton/año.

#### b) Costos

En la estructura del costo de producción del carburo predominan, a partir de las 15 000 ton/año, las materias primas y la energía eléctrica: totalizan 56 por ciento del costo a 15 000 toneladas para llegar a un 70 por ciento, a 200 000 ton/año. La incidencia de las cargas financieras y de los ítems relacionados directa o indirectamente con la mano de obra son, sin embargo, altas debido al costo moderado de los insumos. La economía de escala en el costo de producción alcanza un máximo de 40 por ciento para una capacidad instalada 7 a 8 veces superior a la de referencia (15 000 toneladas) y de ella corresponden a las cargas de capital alrededor de un 30 por ciento, a la mano de obra y supervisión el 25 por ciento a la mantención y gastos generales el 10 por ciento y finalmente un 34 a 36 por ciento a economías derivadas de mejores rendimientos en hornos y en la obtención de cal viva. En este último rubro se incluye una disminución en el costo de la cal viva utilizada que incide en \$ 12.05, entre 15 y 100 mil ton/año, representando una economía igual al 10 por ciento del costo base y que es atribuible en su totalidad a la economía de escala en la operación previa de obtención

/de cal

de cal (ver óxido de calcio). Se ha incluido esta economía, aparentemente externa, debido a que usualmente las grandes cantidades de cal necesarias son producidas directamente por el productor de carburo; sin embargo esta E/E de 10 por ciento corresponde en su mayor parte a los rubros capital y mano de obra en la unidad de cal.

En una planta pequeña, 5 000 ton/año o un tercio de la capacidad de referencia, se observa un aumento en el costo base de 53 por ciento; sin embargo si tal unidad dispone de cal a un costo económico -- proveniente de una instalación de mayor tamaño, su costo podría descender y este margen desfavorable se reduciría a un 34 por ciento; adicionalmente economías externas en el costo de la energía y del coque,<sup>g/</sup> podrían compensar en parte la capacidad inadecuada de esta planta anulando parte de las economías de escala.

### Isopropanol

El isopropanol, o alcohol isopropílico es utilizado como solvente para lacas, como intermediario para diversos ésteres y - ampliamente - como intermediario en la fabricación de acetona y de anhídrido acético, metil (isobutil ketona, etc.), además encuentra aplicaciones en farmacia, cosmética, anticongelante, etc.

Fabricación: el método más usado obtiene el isopropanol por hidrólisis del propileno (vía petroquímica). Existe un método alternativo, poco competitivo, a partir de acetona.

#### a) Inversiones

Se caracterizaron las que corresponden al proceso a partir de propileno. El tamaño de las plantas es ampliamente variable y el rango analizado cubre desde 6 000 ton/año hasta 30 000 ton/año. El comportamiento de las inversiones refleja el proceso de fabricación: relativamente poco complejo y con pocas limitaciones en cuanto a la capacidad de operación del equipo; es un proceso continuo efectuado en pocas etapas: absorción del propileno en ácido sulfúrico, hidrólisis y destilación del alcohol formado, reconcentración del ácido.

<sup>g/</sup> El costo de estos insumos se ha mantenido constante en el intervalo examinado.

La escala de fabricación adoptada como referencia es de 6 000 toneladas y corresponde ya a una planta de tamaño aceptable. Las plantas conocidas en América Latina son de aproximadamente 1 200 ton/año (Argentina) y 2 100 ton/año (Brasil).

Las inversiones unitarias tipo son:

6 000 ton/año	\$ 240
12 000 ton/año	\$ 170
30 000 ton/año	\$ 110

El exponente de capital (o factor de capital) resultante es de 0.46 en el primer tramo y de 0.52 en el segundo. Se conocen estudios <sup>9/</sup> que señalan un factor de 0.60. Es probable que el factor de capital alcance valores aún mayores 0.65 y 0.70 para capacidades superiores a las 30 000 ton/año.

Las economías de escala en el rango considerado alcanzan al 55 por ciento de la inversión a 6 000 ton/año, con un incremento de tamaño de planta de cinco veces.

b) Costos

La incidencia del factor capital en el costo de producción es mediana, predominando la influencia de las materias primas y servicios, rubros que constituyen el 62 por ciento del costo, para la escala mayor considerada.

Las E/E en los costos de producción alcanzan rápidamente un 40 por ciento, sobre el costo a 6 000 toneladas, al pasar a plantas de 25/30 mil ton/año. Este total se origina principalmente en el grupo depreciación, seguros, interés y mantención, con cerca del 60 por ciento; el resto deriva del menor empleo de mano de obra y del ítem gastos generales (calculado en función lineal de la mano de obra).

El valor límite de la economía de escala en los costos tiende al 45 por ciento del costo  $C_0$ .

---

<sup>9/</sup> Trabajos publicados por Bert & Haselbart (Chemical Engineering Series "Cost File", 1960/61).

El aumento del costo a escalas menores llega rápidamente al 20 por ciento para 3 a 4 mil toneladas.

#### Cloruro de polivinilo

El P.V.C. o polímero del cloruro de vinilo, es actualmente uno de los materiales de síntesis más utilizados, (su consumo en Estados Unidos sobrepasa el billón de libras anuales) y su precio internacional refleja la extensión que ha alcanzado su producción: ha descendido continuamente desde más de 25 ¢/US/lb hasta cotizaciones de dumping por debajo de 12 ¢/lb. Sus aplicaciones son extensas, desde el revestimiento de conductores eléctricos, films flexibles, tubos rígidos y flexibles, envases diversos, y toda clase de objetos obtenibles por moldeo (inyección), laminado, extrusión, etc. Su fabricación presenta el ejemplo de diversas alternativas tecnológicas: obtención a partir de acetileno o de etileno; a su vez el acetileno necesario puede obtenerse a partir del carburo de calcio, o del craqueo de gas natural, método este último que presenta efectivas ventajas de costo y que tiende a abastecer las nuevas plantas en países de gran desarrollo industrial. El empleo de etileno por otra parte, si bien requiere inversiones superiores, permite el uso directo de cloro dejando como subproducto ácido clorhídrico en cantidad aproximada al 50 por ciento del cloro consumido; ello permite incluso integrar este proceso con la fabricación del propio PVC a partir de acetileno, absorbiendo así el ácido clorhídrico (la cloruración del acetileno requiere efectivamente ácido clorhídrico, seco o anhidro).

El proceso a partir de acetileno presenta relativa complejidad, numerosas etapas y exige controles precisos en la fabricación. Es posible separar la obtención del monómero - cloruro de vinilo, gas en condiciones normales de presión y temperatura - de la fabricación del polímero. Sin embargo, es usual la integración de ambas operaciones en una sola planta, estructura que se ha adoptado en este análisis. En la unidad de polimerización se presentan nuevamente alternativas tecnológicas, en función del tipo final de resina que se desee producir, (polimerización en emulsión, en suspensión; procesos discontinuos).

/Esta fase

Esta fase requiere proporcionalmente una mayor intervención de mano de obra, especialmente en la elaboración final del producto: acondicionamiento, selección de las diversas calidades o grados. La capacidad de las instalaciones de polimerización en emulsión alcanza corrientemente las 6 000 ton/año por cada autoclave. La obtención del monómero es continua y las capacidades encontradas en plantas europeas medianas llegan a 12 000 ton/año, como mínimo.

a) Inversiones

Existe gran ambigüedad en las diversas informaciones recogidas sobre el costo de instalaciones de capacidad pequeña y mediana; en parte ello es debido a la definición inadecuada de los límites de cada instalación las que incluyen en mayor o menor grado etapas previas como la purificación del acetileno, el secado del ácido clorhídrico, almacenaje de gases, etc., o etapas de destilación y rectificación final del monómero. Las estimaciones medias resultantes permitieron establecer la variación del costo en función de la capacidad de las instalaciones, variación que es lenta para el tramo inferior - desde 1 000 ó 2 000 ton/año hasta 10-12 mil toneladas.

La escala de referencia de 6 000 ton/año corresponde en realidad a una capacidad pequeña frente a la evolución reciente de estas instalaciones, sin embargo se encuentra cerca de los extremos constatados en los países de la región, en los que existen plantas de 1 500 toneladas, 3 000 toneladas, 10 000 toneladas, además de numerosos proyectos de pequeña capacidad (1 200 a 3 500 toneladas).

Las inversiones unitarias retenidas como representativas de los diversos tamaños de planta considerados son:

2 500 ton/año	\$ 480
6 000 ton/año	285
20 000 ton/año	170
40 000 ton/año	129

Las economías de capital, acentuadas en el rango 2 500 a 15-20 mil toneladas, tienden al 60 por ciento de la inversión unitaria base, para capacidades superiores a las 60 000 ton/año, y alcanzan a un 47 por ciento para la capacidad de 30 000 ton/año - cinco veces la capacidad de referencia.

/b) Costos

b) Costos

El costo de producción para el PVC se caracteriza por la elevada incidencia del rubro materias primas y materiales directos (c) el que totaliza un 70 por ciento a la escala de referencia y un 86 por ciento al nivel de las 40 000 ton/año. Frente al elevado costo de los insumos físicos y del producto mismo, (\$ 290/ton, a la escala 6 000 toneladas, para el costo directo de producción) la incidencia del rubro capital, en las economías de escala es relativamente pequeña llegando al 7 por ciento del costo base. En total se observan economías de 13.7 por ciento para una planta de 20 000 toneladas y de 18.3 por ciento para una de 40 000 ton/año. A mayores escalas la economía en los costos de producción tiende a un valor máximo igual al 20 por ciento del costo unitario base; si atendemos a la influencia del rubro materias primas y servicios - en especial al costo del cloro y del acetileno - se constata que es posible compensar el efecto de escalas de producción inadecuadas por economías realizables en estos factores externos. Los costos de insumos adoptados en el análisis y cuya repercusión en los resultados es apreciable son: cloro, \$ 50/ton; acetileno \$ 260 (supuesta su obtención en planta de gran tamaño, a partir de carburo de calcio) cifra cercana al precio comercial del acetileno, pero muy superior al costo que puede lograrse en una planta que utilizara gas natural a una escala adecuada (más de 20 000 ton/año de acetileno por craqueo, equivalentes a unas 40 000 ton/año de PVC, caso analizado más adelante).

Oxido de calcio

La "cal viva", de calidad adecuada para procesos químicos, es una materia prima en numerosas producciones químicas, en especial en la industria de la soda (carbonato), del carburo de calcio y del fosfato precipitado o "bicálcico", además se la emplea en numerosos procesos como aditivo o como agente auxiliar - siderurgia, cerámica, etc. Junto a la calidad "química" se preparan además una calidad técnica local agrícola y la cal utilizada en morteros (construcción). El precio de las calidades superiores es variable, situado entre \$9 y \$24 en Estados Unidos y depende de la escala de producción, del costo del calcáreo utilizado

/y de

y de diversas situaciones comerciales entre productores y actividades consumidoras; es frecuente la integración con industrias químicas que la requieren en cantidades apreciables (100 o más ton/día),

**Fabricación.** A pesar de que su producción es simple y consiste en la descomposición del carbonato de calcio, o caliza, a temperaturas del orden de los 1 000 C, se han presentado alternativas tecnológicas en la fabricación de cal en cuanto al tipo de combustible usado y, consecuentemente, al diseño de los hornos de calcinación. Inicialmente se utilizó coque en hornos verticales, operación que aún se practica en condiciones ventajosas; luego se ensayaron hornos rotatorios con el objeto de sustituir el coque por un combustible más económico: fuel o gases; en efecto, el horno vertical exige cierta resistencia mecánica de parte del combustible e impone el uso de coque, sin embargo las inversiones en hornos verticales son inferiores a las que exige un horno rotatorio, lo cual, asociado a otras ventajas propias del horno vertical, impulsa el estudio de modificaciones que permitieran el uso de petróleo o gas; recientemente se ha logrado operar estos nuevos hornos verticales con una productividad tal, con respecto al diseño original, que esta solución parece ser definitivamente la óptima. En efecto se ha logrado aumentar la producción de un determinado horno diseñado originalmente para 100 ton/día hasta obtener en él 500 a 600 ton/día;<sup>10/</sup> todo ello con modificaciones exclusivamente sobre la forma de introducir el fuel o el gas natural que aseguran una calcinación uniforme y más rápida del calcáreo y una gran homogeneidad del producto.

a) Inversiones

Las inversiones unitarias utilizadas en el análisis corresponden, con cierto grado de aproximación, a las resultantes con los nuevos métodos mencionados anteriormente. Ascenden a \$ 52 por tonelada de capacidad anual, al nivel de 5 000 ton/año \$ 34 por tonelada para 15 000 ton/año - escala de referencia - y luego pasan a \$ 25 y \$ 15 para 30 y 100 mil ton/año,

---

<sup>10/</sup> Modificaciones de hornos desarrolladas por Union Carbide Metals (N. York) y licenciadas últimamente a firmas japonesas y francesas.

respectivamente; a estas escalas se agregó una mayor de 200 000 toneladas, cuya inversión unitaria descendería a \$ 11.50 por tonelada anual, probablemente el mínimo obtenible.

Las economías de capital, con referencia a la escala de 15 000 ton/año, llegan a un máximo de 66 por ciento para una planta de 200 000 ton/año y a un 50 por ciento para una planta de cinco veces la escala de referencia: 75 000 ton/año.

El exponente de capital en el tramo 5 000 ton-100 000 ton es de 0.58, tendiendo a 0.6-0.65 para capacidades mayores, hasta las 200 000 ton/año (correspondiente a 600 toneladas por día, capacidad máxima conocida en la modificación tecnológica mencionada).

b) Costos

Se observa un continuo crecimiento de la proporción de los costos relativa a las materias primas, disminuyendo tanto la ponderación de las cargas de capital como de la mano de obra; así las materias primas aportan el 33.6 por ciento del costo a 15 000 toneladas y el 70 por ciento a 200 000 toneladas.

La economía de escala en los costos tiende a sobrepasar el 50 por ciento del costo unitario base, para capacidades del orden de las 200 000 ton/año, siendo de 21.5 por ciento ya a 30 000 toneladas. Una planta de sólo 5 000 toneladas de capacidad tendría por el contrario, mayores costos que ascienden a un 53 por ciento del costo unitario base. En cuanto al valor absoluto de los costos obtenidos, puede adelantarse que una planta de 15 000 ton/año presenta el caso límite y sólo será adecuada en condiciones excepcionales de costos de materias primas. Aún más desfavorable será la posición de una unidad de 5 000 toneladas anuales.

Butadieno

Intermediario de importancia en la fabricación de diversos tipos de cauchos sintéticos, el butadieno encuentra otras aplicaciones en diversas síntesis orgánicas (adiponitrilo para la fabricación del nylon, por ejemplo). Los dos productos que utilizan la mayor parte de la producción de butadieno son el caucho SBR, o caucho butadieno-estireno y el caucho butyl; recientemente se ha introducido el nuevo elastómero "Cis-polibutadieno", de cualidades semejantes al caucho natural y cuya fabricación requiere butadieno.

/La producción

La producción de butadieno se efectúa a partir de fracciones obtenidos en algunas operaciones propias a las refinerías de petróleo y que contienen diversos tipos de hidrocarburos (grupo C4) ñps que sometidos a un proceso de deshidrogenación catalítica conducen al butadieno (específicamente al 1-3, butadieno, uno de los 14 hidrocarburos poseedores de cuatro átomos de carbono). La obtención a partir de alcohol o a partir de acetileno, no se ha considerado en este análisis.<sup>11/</sup>

a) Inversiones

Las inversiones correspondientes a las instalaciones de deshidrogenación de butanos y butileno, y a la ulterior separación y rectificación del butadieno, se han calculado a base de informaciones directas proporcionadas por firmas especialistas.

Las inversiones unitarias resultantes son:

10 000 toneladas	\$ 600
20 000 toneladas	450
30 000 toneladas	338

La tendencia para plantas mayores de 40 000 ton/año, en las economías de escala, señala un valor límite del orden del 54 por ciento de la inversión unitaria a la escala base (10 000 ton/año) con un exponente de inversiones que probablemente sobrepase 0.6 a partir de 50-60 mil ton/año. Por otra parte se desconocen cifras precisas para instalaciones inferiores a unas 10 000 ton/año, capacidad aparentemente mínima.

La escala de referencia adoptada, de 10 000 toneladas anuales, es baja frente a algunos proyectos de América Latina para la fabricación de caucho sintético; sin embargo en ellos se utilizaría inicialmente butadieno importado y no se prevé por lo tanto su fabricación local de inmediato. Es posible que las primeras instalaciones de la región tengan capacidades en el rango de 20 a 40 mil toneladas de butadieno.

---

<sup>11/</sup> Un examen más detallado de la obtención del butadieno se presenta en el documento E/CN.12/628/Add.3, Anexo II.

/b) Costos

b) Costos

En la estructura tipo de costos utilizada (Houdry) predominan los insumos materiales y, en menor grado, las cargas de capital que constituyen el 35 por ciento del costo a 10 000 ton/año. Las economías de escala en los costos de producción son rápidas en el tramo comprendido entre 5 mil y 20-25 mil ton/año; llegan al 16 por ciento del costo unitario base para una planta doble capacidad; luego tienden a un máximo de 28 por ciento para más de 40 000 toneladas, con una incidencia del rubro materias primas que sobrepasa el 65 por ciento del costo total. Inversamente una planta de sólo 7 000 ton/año tendría un recargo en los costos que alcanzaría un 25 a 30 por ciento del costo unitario base.

Acetileno (de carburo de calcio)

La obtención de acetileno a partir de carburo era hasta hace poco la más usual para este intermediario químico, además de ser el proceso normal para el acetileno utilizado en otras actividades industriales - soldadura, iluminación, etc.

Las plantas de generación de acetileno a partir de carburo son simples y consisten en equipos automáticos o semi-automáticos que efectúan la reacción entre el carburo y el agua agregada en proporción adecuada. Se presentan dos alternativas, de menor importancia, en cuanto a la separación de la cal hidratada sub-producto de la operación ya sea en forma de lechada de cal o en forma "seca".

a) Inversiones

Estas son en general moderadas y se ajustan a un exponente de capacidad de 0.6.

Representativas en el rango examinado son:

5 000 ton/año:	\$ 70 ton/año
19 000 ton/año:	40 ton/año
29 000 ton/año:	34 ton/año

La economía de capital, de un 48 por ciento a 20 000 toneladas con respecto a la escala base de 5 000 ton/año, aumenta poco para capacidades mayores, tendiendo a un máximo de 55 por ciento para instalaciones de considerable magnitud, más de 40 000 ton/año.

/b) Costos

b) Costos

Los costos de operación reflejan principalmente el costo del carburo de calcio; en el caso presente se adoptó un precio uniforme de \$ 73 /ton., susceptible de alcanzarse en plantas de carburo de gran capacidad (ver Carburo) y con ello este ítem junto con servicios auxiliares (energía, agua, etc.) representa arriba del 90 por ciento del costo del acetileno. La incidencia de la mano de obra y gastos generales tiende a ser inferior a la de las cargas de capital para instalaciones de gran capacidad.

Las economías de escala en los costos son muy bajas, no llegando a más del 8 por ciento del costo unitario base. Si se compara una planta de 2 000 toneladas anuales de gas acetileno (para usos industriales diversos) con una de 5 000 toneladas, se observa un mayor costo de aproximadamente un 5 por ciento, mientras que frente a una planta de 20 000 toneladas la economía alcanzada sería del 11 por ciento (es decir el mayor costo en la planta menor - 2 000 ton/año - respecto del costo en la planta de 20 000 toneladas anuales).

Acetaldehído (de acetileno)

El acetaldehído constituye un intermediario de cierta importancia en diversas síntesis (ácido acético, anhídrido acético, alcohol butílico, iso-octanol, cloral, etc.) y productos de farmacia y agentes fotográficos.

Se le obtiene por diversos métodos, uno de los cuales es la hidratación del acetileno en presencia de catalizadores (sulfato mercuríco). El alto costo del acetileno, consecuencia de su obtención vía carburo, ha permitido la introducción de un nuevo proceso a partir de etileno.

a) Inversiones

Las cifras de inversión en plantas de acetaldehído a partir de acetileno proporcionadas por firmas europeas, permiten establecer las siguientes inversiones unitarias típicas:

10 000 toneladas:	\$ 140
20 000 toneladas:	100
30 000 toneladas:	83
60 000 toneladas:	63

La planta de 20 000 ton/año se adoptó como escala de referencia.

/La economía

La economía de escala asciende a un 37 por ciento de la inversión unitaria base para una planta triple y tiende a un máximo de 50 por ciento para plantas de gran capacidad: más de 80 000 ton/año. El exponente de capital en el intervalo analizado varía entre 0,50 y 0,60.

#### b) Costos

Los costos de producción unitarios reflejan la incidencia del rubro materias primas, llegando éste a constituir el 90 por ciento del costo de fabricación.

Las economías de escala realizables son débiles y no sobrepasan el 8 por ciento del costo base. En plantas menores el recargo alcanza un 8 por ciento, para una planta de 10 000 toneladas respecto al nivel de referencia, de 20 000 ton/año.

#### Negro de carbono

Denominado corrientemente "negro de humo", se le usa extensamente como agente reforzante del caucho en la fabricación de neumáticos y otros artículos de uso industrial; en menor proporción - 10 por ciento del consumo, generalmente - interviene como pigmento (ver E/CN.12/628/Add.3, Anexo II) en la producción de tintas, etc. Las diversas calidades difieren por sus propiedades físicas: resistencia a la abrasión impartida al caucho, facilidad de extrusión, etc.

Su fabricación se efectúa por descomposición térmica de diversos hidrocarburos, hasta carbono libre; se emplean aceites o gas natural como materia prima. Por las características superiores del negro de carbono obtenido se prefiere utilizar como materia prima ciertos residuos de reforming petrolero en cuya constitución predominan los hidrocarburos del tipo aromático, o policíclico. La operación consiste en inyectar estos aceites en la zona de combustión de un horno de diseño especial y separar las partículas de carbono arrastradas por los gases residuales; el combustible utilizado puede ser el mismo aceite o, caso más frecuente, un gas combustible (gas natural o residual de otros procesos) práctica que conduce a un menor consumo de la materia prima de mayor costo.

#### a) Inversiones

Las instalaciones usuales para la fabricación del negro de carbono

/exigen inversiones

exigen inversiones relativamente altas que imponen un tamaño mínimo de planta del orden de las 8 a 12 mil ton/año. Si bien esta fabricación existía desde algunos decenios en Estados Unidos, solamente después de los años 1940/45 se ha extendido al resto de los países industrializados, instalándose numerosas plantas nuevas en Europa y, más recientemente, en algunos países latinoamericanos.<sup>12/</sup> De las informaciones obtenidas sobre diversas nuevas plantas y proyectos se desprenden las siguientes cifras unitarias de costo, por tonelada de capacidad anual:

4 000 toneladas:	\$ 575
7 000 toneladas:	386
10 000 toneladas:	300
25 000 toneladas:	208
50 000 toneladas:	160

El factor de capital aumenta desde 0,35 (4 a 7 mil toneladas) hasta 0,58; este último es válido a partir de 10 000 ton/año y hasta unas 50-70 mil ton/año de capacidad. Las economías de capital son de un 47 por ciento de la inversión unitaria a la escala base, para plantas de 50 000 ton/año. Una planta pequeña, de 4 000 toneladas, requiere una mayor inversión unitaria de 19 por ciento respecto a la escala base de 10 000 ton/año.

b) Costos

Entre 4 000 y 10 000 ton/año predomina la incidencia de las cargas de capital en los costos, llegando a un 43 por ciento para la capacidad inferior; por el contrario, en plantas grandes se acentúa la incidencia del costo de materias primas y servicios, los que llegan a constituir el 60-65 por ciento del costo de producción para más de 50 000 ton/año.

La economía, en los costos, tiende a un máximo de 32 por ciento para plantas superiores a las 50 000 ton/año de capacidad. Inversamente, en plantas de sólo 4 000 ton/año, el mayor costo de producción alcanza a un 43 por ciento del costo unitario base.

---

<sup>12/</sup> La capacidad de producción de las plantas actualmente en construcción, o en proyecto, en la región se sitúa entre 10 y 15 mil ton/año.

/Entre 7 000

Entre 7 000 y 25 000 ton/año las economías de escala son decisivas, salvo circunstancias excepcionales en los costos de los insumos que puedan compensarlas.

### Etileno

Intermediario petroquímico de importancia, el etileno es utilizado en la producción de resinas sintéticas, glicoles, alcohol etílico, productos intermedios para la obtención de numerosas especialidades: detergentes no iónicos, colorantes, farmacia, etc. Se le produce usualmente en complejos industriales que le utilizan directamente y no es objeto de transacciones, salvo entre grupos integrados que utilicen facilidades comunes para su fabricación.

La obtención del etileno puede consistir en la simple separación de la fracción presente en gases de refinería o en gases de coquería; en otros casos se recurre al craqueo de hidrocarburos (etano, naftas y propano-butano). Este último método de obtención exige instalaciones específicas, mientras que en la simple separación mencionada en primer término las operaciones forman parte de la secuencia usual en plantas de utilización de gases residuales de coquería, o constituyen anexos en refinerías de petróleo: separación fraccionada del propileno, butano, propano y etileno contenido en los gases originados en los diferentes tratamientos de reformación térmica y catalítica aplicados a las naftas y otras fracciones líquidas. Se ha seleccionado como actividad representativa de la producción de etileno su obtención por craqueo de naftas (proceso Lurgi-Rhurgas); este proceso se aplica actualmente en situaciones en que no se dispone de suficiente etileno separable en refinerías de petróleo, ni tampoco de etano recuperable en corrientes de gas natural, posibilidades ambas que son más económicas para plantas de capacidad mediana: 5 000 a 20 000 ton/año.

El etileno no posee en el mercado un precio bien determinado, al menos en América Latina, y en general es obtenido por las mismas industrias que lo utilizan, ya sea en instalaciones propias o mediante contratos de abastecimiento establecidos con refinerías de petróleo. En Estados Unidos es usual un costo de obtención de etileno situado entre 3 y 5 ¢/US/lb (\$ 66 a \$ 110 /ton).

b) Inversiones

Establecidas a partir de informaciones directamente proporcionadas por firmas especialistas (Lurgi, Lummus, SBA, etc.) conducen a los siguientes valores unitarios por tonelada anual de capacidad instalada:

10 000 toneladas:	\$ 570
20 000 toneladas:	413
60 000 toneladas:	250

El exponente de capital resultante - 0.54 - es regular en este intervalo (10 a 60 mil toneladas); sin embargo a capacidades mayores es susceptible de alcanzar gradualmente valores del orden de 0.80-0.85 debido a la multiplicación de las unidades de craqueo y, finalmente, de las instalaciones de separación y purificación del etileno.

Los diversos procesos desarrollados para este método de obtención difieren entre sí en cuanto a detalles tecnológicos y las capacidades máximas unitarias construidas a la fecha varían entre 45 000 y 60 000 ton/año, según el proceso utilizado.

En el ejemplo adoptado se obtienen economías de escala regulares hasta las 60 000 ton/año, las que ascienden a un 56 por ciento para la planta de 60 000 toneladas, con respecto a la inversión unitaria a 10 000 ton/año.

b) Costos

En la obtención de etileno a partir de naftas son relevantes los ítems relacionados con el capital invertido y - a mayores capacidades - los relativos a materias primas y servicios: estos últimos llegan a constituir el 50 por ciento del costo de producción. La economía en los costos se acentúa para la capacidad máxima considerada, siendo igual a un 43 por ciento del costo a la escala base. Para capacidades mayores es necesaria la división de la planta en varias unidades y por consiguiente las economías de escala serán variables, no sobrepasando un 50 por ciento del costo a la escala de referencia. En el tramo inferior no se consideran realizables plantas de menos de 8 a 10 000 toneladas, siendo preferible recurrir a las alternativas mencionadas supra.

/Dióxido de

### Dióxido de titanio

Constituye el más importante de los pigmentos blancos y ha sustituido prácticamente a los más tradicionales (litopón, blanco de plomo, óxido de zinc). Además de su empleo en pinturas encuentra extensas aplicaciones en la industria del papel, caucho, plásticos, tintas, cerámica, esmaltes, fibras sintéticas -- como opacificante -- fundente en soldaduras, etc. Posee un alto valor en el mercado -- de \$ 600 a 750 según calidades. Su fabricación consiste en el tratamiento de minerales -- ilmenitas -- que contienen el titanio asociado al hierro y otros elementos; en algunos casos se utilizan escorias de siderurgia, en las que se ha concentrado el titanio presente en el mineral de hierro original. El tratamiento tradicional se efectúa mediante ácido sulfúrico: cerca de 4 toneladas son necesarias por tonelada de dióxido producido; sin embargo se comienzan a utilizar procesos alternativos basados en el empleo de cloro y la separación del titanio al estado de tetracloruro, posteriormente descompuesto hasta óxido de titanio. El proceso vía ácido sulfúrico es mejor conocido y se adoptó como representativo en este análisis.

#### a) Inversiones

Las plantas de dióxido de titanio presentan una fuerte economía de escala en el tramo de capacidades inferiores a las 20 000 ton/año. La escala de referencia de 5 000 ton/año corresponde a plantas pequeñas, como las que se han instalado en algunos países de la región, al menos en su etapa inicial -- Brasil y México. Las plantas recientemente instaladas en otras regiones -- India 5 000, Sud-Africa, Tasmania, Holanda -- alcanzan generalmente las 10 000 ton/año, mientras que en Estados Unidos no descienden de las 25 000 ton/año y en Alemania se ha instalado (1957, Bayer en Urdingen) una planta de 50 000 ton/año.<sup>13/</sup>

---

<sup>13/</sup> Las mayores plantas de dióxido se encuentran en los Estados Unidos; 120 000 toneladas y 150 000 ton/año.

Las inversiones unitarias calculadas reflejan el costo total de los ejemplos mencionados <sup>14/</sup> y corresponden a los valores siguientes:

5 000 toneladas:	\$ 1 200
20 000 toneladas:	700
50 000 toneladas:	500

Con respecto a una instalación de 5 000 ton/año se alcanza así una economía de capital máxima de 60 por ciento al pasar a una planta diez veces mayor. El factor de capital varía entre 0.60 (menos de 5 000 toneladas a 20 000 ton/año) a 0.65 para capacidades cercanas a las 40-50 mil ton/año.

b) Costos

La incidencia del factor materias primas en el costo de producción es alta a partir de 20 000 toneladas (56 por ciento) y por ello, a pesar de la fuerte inversión unitaria, el efecto de economía de escala es poco sensible por encima de unas 25 a 30 mil ton/año. A esta capacidad la economía en el costo de producción por tonelada es de 34-36 por ciento del costo base, determinado a 5 000 ton/año. El máximo probable para las economías de escala en los costos es de un 40 por ciento para tamaños de planta superiores a 50 000 ton/año. La mayor parte de estas economías de escala proviene del rubro cargas financieras, ya que el carácter del proceso exige el empleo de una mano de obra relativamente alta, siendo la economía en los costos por este concepto sólo de un 8 por ciento, a la mayor escala considerada.

Economías externas, provenientes del costo del ácido sulfúrico (20 por ciento del costo directo de operación a la escala base) y del costo del mineral de ilmenita, pueden resultar decisivas en el rango de 4 a 10 mil ton/año. A escalas mayores, éstas no lograrían disminuir el margen favorable debido a las economías de escalas en el rubro capital.

---

<sup>14/</sup> European Chemical News, May 25, 1962 y otros.

Urea

Su importancia como compuesto nitrogenado (43 a 46 por ciento de Nitrógeno) coloca en primer lugar de sus aplicaciones los abonos y ciertos concentrados para la alimentación de ganado; entre sus usos industriales se destaca la fabricación de resinas y adhesivos; finalmente se la utiliza como estabilizante, como intermediario en la obtención de ciertas drogas y productos de síntesis menores.

Fabricación. La urea se obtiene por reacción del amoníaco con el dióxido de carbono a presiones medianas. Generalmente su fabricación se combina con las propias plantas de amoníaco, entre otras causas por la posibilidad de disponer de gas carbónico residual de la síntesis del amoníaco. Existen diversas variantes en cuanto a la técnica misma utilizada en el proceso las que introducen diferencias en cuanto al rendimiento de las materias primas y a la recuperación del amoníaco no combinado como sulfato, o su recirculación al proceso básico.

La fabricación de urea se ha expandido fuertemente en los últimos 15 años, llegando a ser uno de los fertilizantes nitrogenados más difundidos - después del sulfato y del nitrato de amonio.

a) Inversiones

La capacidad de las plantas de urea es raramente inferior a unas 30 a 50 ton/día, considerándose como normales las instalaciones de 50 a 200 ton/día. Las inversiones unitarias representativas seleccionadas son:

16 500 ton/año	\$ 109 /ton
33 000 ton/año	85
82 000 ton/año	63
165 000 ton/año	50
247 000 ton/año	47

El factor de capital varía entre 0.64 y 0.70 al pasar de 16 000 toneladas a 165 000 toneladas, para luego tender a 0.80 y más entre 165 000 toneladas y 300 000 toneladas anuales. Puede aceptarse como valor límite de la inversión un costo de capital de \$ 43 por tonelada de capacidad anual.

/Las economías

Las economías de capital, con respecto a una capacidad base de 33 000 ton/año, tienden a un máximo de 35 por ciento, mientras que el aumento en la inversión unitaria para una planta de 10 000 ton/año (30 ton/día) puede llegar al 40-55 por ciento con respecto a la capacidad base de 33 000 toneladas.

b) Costos

Los costos unitarios descienden rápidamente entre 10 y 60 000 toneladas, presentando economías de escala de un 6 por ciento a 60 000 toneladas, e, inversamente, un aumento de 20 a 25 por ciento para una capacidad inferior - 10 000 ton/año - al tamaño de referencia.

Predominan en los costos de producción el valor de las materias primas y servicios (hasta un máximo de 80-82 por ciento) y por lo tanto las economías de escala se atenúan considerablemente no sobrepasando un 18 por ciento del costo base, para plantas de gran tamaño: más de 300 000 ton/año. Puede concluirse (gráfico nota en anexos) que a partir de unas 50-60 mil toneladas anuales las economías de escala podrían dejar de ser decisivas frente a economías externas que las compensarían parcialmente.

Acetileno (de gas natural)

Son aplicables las notas correspondientes al acetileno de carburo, sin embargo el acetileno obtenido vía gas natural - proceso reciente, utilizado hasta ahora sólo en Estados Unidos y algunos países europeos (E/CN.12/628/Add.3, Anexo II) - se destina a fabricaciones de derivados, en plantas de gran capacidad que producen su propio acetileno ("captive consumption").

La obtención del acetileno a partir de gas natural presenta ventajas considerables en cuanto al costo de la materia prima, sin embargo exige cuantiosas inversiones, incluso para la separación y purificación del acetileno; el rendimiento es bajo y la concentración en acetileno del gas resultante en el craqueo térmico del metano (principal componente del gas natural) es inferior al 12 por ciento; la valorización de los gases restantes supone la existencia de industrias de síntesis (amoníaco, metanol), que utilicen el hidrógeno y el monóxido de carbono, integradas a la planta de acetileno.

/a) Inversiones

a) Inversiones

Las estimaciones de inversiones - así como los cálculos de costos - se han establecido a base de informaciones proporcionadas por firmas de ingeniería que han desarrollado uno de los procesos actualmente utilizados<sup>15/</sup> y sólo poseen un carácter ilustrativo. Por tonelada de capacidad anual instalada son:

13 600 toneladas	\$ 465
27 200 toneladas	376
45 000 toneladas	320

Este intervalo corresponde a los tamaños de planta realizables a base de una sola unidad de craqueo y, por consiguiente, presenta un factor de capital constante de 0,67. Capacidades menores a las señaladas serían poco factibles y su costo total no desdendería mucho con respecto a la inversión correspondiente a la planta de 13 600 toneladas, escala que se adopta como término de referencia.

Las economías en la inversión unitaria tienden a un máximo de 31 por ciento para la mayor escala realizable actualmente, frente a la de referencia.

b) Costos

La estructura de los costos se ve influida por el costo del gas natural y no es muy característica del tipo de proceso, a las capacidades relativamente elevadas, adoptadas en este análisis. Las economías de escala aparecen en forma perceptible para aumentos al doble de la capacidad de referencia: 11 por ciento en el costo unitario de producción; tienden a un valor máximo de 17 por ciento, para las capacidades extremas.

Estireno

Intermediario en la fabricación de caucho sintético (SBR) y del poliestireno el estireno es conocido también como "monómero" de este último plástico. Estas dos aplicaciones constituyen prácticamente la

---

<sup>15/</sup> S.B.A. (Société Belge de l'Azote et des Produits chimiques du Marly).

totalidad de su mercado, que se completa con algunas resinas del tipo alkyd. Su fabricación se efectúa por deshidrogenación catalítica del etilbenceno; éste a su vez se produce por reacción del etileno y del benceno (alquilación catalítica) o bien se le puede extraer de mezclas de hidrocarburos aromáticos obtenidos en la reformación de naftas (vía petroquímica de obtención del benceno y sus homólogos).<sup>16/</sup>

a) Inversiones

Las escalas de producción del estireno son usualmente altas y los costos de capital por tonelada de capacidad instalada son:

5 000 toneladas	\$ 360
10 000 toneladas	289
25 000 toneladas	224
70 000 toneladas	177

El exponente de capital presenta un valor comprendido entre 0.75 y 0.77 a partir de la escala adoptada como referencia: 10 000 ton/año. Entre esta última y la inferior, de 5 000 toneladas, el factor de capital tiene un valor medio de aproximadamente 0.68.

Las economías de escala, para el nivel de 70 000 ton/año ascienden al 37 por ciento de la inversión base unitaria, mientras que ésta sube en 28 por ciento para la escala inferior de 5 000 ton/año.

b) Costos

Las economías de escala en los costos son medianas y alcanzan solamente un 12 por ciento del costo unitario base para plantas superiores a las 50 000 ton/año. En plantas menores esta diferencia se acentúa; el mayor costo a la escala de 5 000 toneladas llega a un 13 por ciento. Estas cifras reflejan la incidencia alta del costo de materias primas, etileno y benceno, en el costo total del estireno. A la máxima escala examinada este rubro representa el 82 por ciento del costo de producción.

---

<sup>16/</sup> Se mencionan estas actividades con más detalle en el documento E/CN.12/628/Add.3, Anexo II.

## Polietileno.

El polietileno constituye el primer plástico, o material de síntesis, obtenido por polimerización directa de un hidrocarburo, es decir sin recurrir a un derivado clorado (caso del PVC) o a derivados obtenidos por condensación de dos o más intermediarios. El fuerte desarrollo que ha tenido el mercado de polietileno, y más recientemente de otras "poliolefinas" (polipropilenos, polibutadieno) es consecuencia de la diversidad de usos que tiene en cuanto material plástico de excelentes cualidades.

La obtención del polietileno a través de los procesos desarrollados hasta hoy conduce a dos tipos ligeramente diferentes: el material conocido como de "alta densidad", que se produce mediante la acción de catalizadores específicos sobre soluciones de etileno sometidas a presiones intermedias (procesos Ziegler y Phillips) y el material denominado "de baja densidad" -- primer tipo en ser obtenido -- en cuya fabricación se recurre a presiones altas, del orden de las 20 mil libras/pulg.<sup>2</sup> Este último constituye la mayor proporción de la producción actual y ha sido seleccionado para este análisis.

En el estado actual de la tecnología es posible construir unidades cuya capacidad llegue hasta 8 a 12 mil ton/año; en plantas de mayor capacidad se adicionan varias unidades prácticamente independientes. Ello significa que la parte de la inversión destinada al equipo de proceso mismo y su instalación es incompresible más allá de un máximo de 12 000 ton/año y en consecuencia las economías de escala que aún puedan presentarse se alcanzarían en las instalaciones generales y de servicios al nivel de las plantas de mayor tamaño.

### a) Inversiones

Si bien la cantidad de ejemplos que puede reunirse con el objeto de estudiar la evolución de las necesidades de capital para la producción de polietileno son limitadas, se logra una estimación adecuada en el intervalo de 4 000 toneladas a 12 000 ton/año. En éste el factor de capital se mantiene entre 0.56 y 0.60. Al pasar a tamaños mayores, plantas de más de una unidad de producción, el factor acusará irregularidades y tenderá probablemente a un valor cercano a 0.90.

/Las inversiones

Las inversiones unitarias seleccionadas como suficientemente representativas son:

3 500 toneladas	\$ 714
8 130 toneladas	492
12 000 toneladas	417
24 000 toneladas	383
48 000 toneladas	360

Estos valores son susceptibles de variaciones importantes debidas en parte a la forma de considerar los gastos por concepto de licencias y asistencia; deben interpretarse además como mínimos que no comportan tratamientos previos del etileno (purificación adicional necesaria en algunos casos, etc.).

Las economías de escala en la inversión unitaria llegan al 22 por ciento de la inversión a la escala de referencia (8 130 ton/año) en el caso de la planta de 24 000 toneladas, supuesta integrada por dos unidades de 12 000 toneladas. Esta economía totalizaría un 27 por ciento en el caso de la mayor planta seleccionada: 48 000 toneladas.

b) Costos

Predomina en los costos de producción, a partir de 8 000 toneladas, el valor de los insumos de materias primas (58 por ciento a esa escala y 65 por ciento a la máxima adoptada).

Como consecuencia de la rigidez en los costos de capital las economías de escala no sobrepasan un 13 por ciento del costo unitario base, para la planta de 48 000 ton/año. En el otro extremo se tiene un mayor costo de producción que llega al 23 por ciento del costo base para una planta pequeña, de 3 500 ton/año.

Metanol

El metanol, o alcohol metílico, se utiliza principalmente en la fabricación de formaldehído (formol) y por ello es un intermediario en la fabricación de algunas resinas (urea-formol, fenol-formol, etc.). Además de sus otros usos como aditivo, solvente, anti-congelante, etc. interviene en numerosas síntesis de productos clorados y otros orgánicos.

/Su fabricación

Su fabricación se efectúa principalmente por síntesis a partir de monóxido de carbono y de hidrógeno, a presiones altas y empleando tecnologías similares, en cierto modo, a las utilizadas en la producción de amoníaco.

a) Inversiones.

Se han retenido como cifras representativas de la inversión unitaria en plantas de metanol sintético las siguientes:

10 000 ton/año	\$ 440
30 500 ton/año	345
60 000 ton/año	288

El exponente de capital, determinado a base de una muestra comparativamente insuficiente, presenta valores situados entre 0.73 y 0.78. Con ello las economías máximas probables llegan al 36 por ciento de la inversión a la escala adoptada como base: 10 000 ton/año.

b) Costos

Presenta la mayor incidencia del rubro capital de la muestra examinada, alcanzando este ítem al 53 por ciento del costo a la escala menor y al 49.5 por ciento a la de 60 000 toneladas. En consecuencia las economías de escala están centradas especialmente sobre los rubros relacionado con el capital, llegando a un 29.5 por ciento la economía en las cargas de capital para la mayor escala examinada; 60 000 toneladas, frente a la que corresponde a la escala base de 10 000 toneladas. La disminución total del costo de producción alcanza a un 29.5 por ciento para la misma planta (19.8 por ciento derivado de cargas de capital, 4.4 por ciento debido a economías en la mano de obra y 5.3 por ciento a diversos ítems menores: mantención, gastos generales, etc.).

La economía de escala en los costos de producción tiende a más de 30 por ciento del costo a la escala base, para plantas superiores a las 60 000 ton/año.

Cloro-soda cáustica

La obtención simultánea de cloro y soda cáustica en solución, mediante el conocido proceso de electrolisis de sal, suministra prácticamente la totalidad del cloro utilizado por la industria química, tratamiento  
/de aguas

de aguas, y diversos usos industriales. Los usos del cloro y de la soda son extensos y no requieren mayor examen en esta oportunidad. El proceso electrolítico presenta diversas variantes, en función del tipo de celda utilizada, del material del cátodo y la concentración de la solución de soda obtenida. En este análisis se ha tomado como ejemplo las instalaciones a base de celdas de cátodo de mercurio las que pueden entregar soluciones de soda con una concentración directa del 50 por ciento. La operación exige tratamientos de purificación previa sobre las soluciones de sal sometidas a la electrolisis, secado del cloro extraído de las celdas y un control constante de los elementos del proceso: electrodos de grafito, mercurio circulante, etc. La obtención de 1 tonelada de cloro produce 1.14 toneladas de soda.

a) Inversiones

Se caracterizan por la relativa rigidez debida al empleo de celdas de capacidad unitaria limitada. Sin embargo la capacidad alcanzada en los últimos años por las celdas de cátodo de mercurio es alta, llegando a unidades de 100 000 Amperes y aún de 150 000 Amperes; estas capacidades corresponden a producciones diarias por celda de 3 toneladas y 4.5 toneladas de cloro, respectivamente. Se observa que, aún con los tamaños máximos de celdas construidos se requieren 50 celdas en operación - celdas de 100 000 Amperes - para alcanzar una producción de 150 ton/día de cloro. Es usual encontrar plantas equipadas con "salas" de electrolisis de 50 a 100 celdas cuyas capacidades se encuentra entre 10 000 y 50 000 Amperes con un rendimiento diario de unas 20 a 50 toneladas de cloro. Las cifras de inversión seleccionadas se refieren a la capacidad de producción de cloro, por lo tanto involucran la producción simultánea de 1.14 toneladas de soda. En valores unitarios son:

6 600 ton/año de cloro	\$ 442 /ton de cloro
16 500 tcn/año de cloro	340
26 400 tcn/año de cloro	307
66 000 ton/año de cloro	254

Los exponentes resultantes son superiores a 0.70 para cualquier capacidad, tendiendo a 0.80 para plantas de más de 30 000 ton/año. Las

/economías de

economías de escala en la inversión unitaria, expresadas en tanto por ciento de la inversión en plantas de 16 500 toneladas (aproximadamente 50 ton/día) alcanzan a un 25 por ciento para 66 000 ton/año, con un probable máximo de 27 a 30 por ciento a capacidades muy superiores.

b) Costos

Los costos unitarios (referidos a 1 tonelada de cloro más 1.14 toneladas de soda) acusan una marcada incidencia del factor inversión (depreciación, seguros e intereses) y conducen a economías máximas de 20 por ciento sobre el costo unitario base, para plantas de 66 000 ton/año. Sin embargo en el caso de una planta de 6 600 ton/año el recargo en los costos llegaría a un 30 por ciento del costo base unitario (16 500 toneladas) y para instalaciones de menor capacidad, en el rango 3 a 4 mil ton/año este recargo tiende a más de 80 por ciento del costo base. A la escala máxima considerada la economía de 20 por ciento en el costo unitario incluye un 11 por ciento relativo a las cargas de capital, un 4 por ciento relativo a mano de obra y un 5 por ciento relativo a mantención, gastos generales y rubros menores.

La incidencia de estas economías de escala en los costos de producción pueden ser alteradas de manera sustancial por la presencia de economías externas relacionadas con el costo de la energía. En las condiciones de costos de factores asumidas en este análisis <sup>17/</sup> el rubro energía representa el 30 por ciento del costo directo de operación (mano de obra, materias primas y servicios) a la escala base de 16 500 ton/año. La posible economía en el costo de la energía eléctrica, ya sea por condiciones especiales de suministro o por la existencia de facilidades de generación propia en condiciones ventajosas, queda de manifiesto si se observa que en una planta de 100 ton/día se requiere una potencia total instalada de por lo menos 16 000 kilowatios.

---

<sup>17/</sup> Sal a \$ 3 /ton, energía eléctrica a \$ 6/ml kWh.

### Amoniaco

Fuente primaria de nitrógeno, el amoniaco se encuentra como producto básico en la industria de fertilizantes (urea, nitratos y sulfato de amonio) y se le utiliza directamente como abono: soluciones nitrogenadas aplicación directa de amoniaco; además se le usa como agente refrigerante industrial, como producto intermedio en numerosas fabricaciones químicas (desde explosivos hasta fibras poliamídicas).

Su fabricación, por vía sintética, se basa en la combinación directa de nitrógeno e hidrógeno en presencia de catalizadores y bajo presiones que llegan a 800 y 1 000 atmósferas. La obtención del gas hidrógeno, o gas de síntesis, es una de las etapas fundamentales del proceso y concurre a la existencia de numerosas variaciones tecnológicas según la materia prima utilizada como fuente de hidrógeno.<sup>18/</sup> En efecto pueden emplearse muy diversos hidrocarburos - desde fuel oil hasta gas natural - carbón, gases de coquería, hidrógeno electrolítico, etc. como punto de partida para la síntesis del amoniaco. Las condiciones locales de recursos orientan en cada caso la selección del proceso y de las materias primas.

#### a) Inversiones

Se han caracterizado a través del costo total de plantas de amoniaco a partir de gas natural, solución ésta que reúne las ventajas del bajo costo de la materia prima y la relativa simplificación del proceso de reformación aplicable al gas para convertirlo en hidrógeno. Las cifras unitarias típicas retenidas son:

18 000 toneladas	\$ 178
36 000 toneladas	139
102 000 toneladas	108
180 000 toneladas	89

El factor de capital varía de 0.65, inicialmente, hasta un valor relativamente constante de 0.73 en plantas de más de 100 ton/día.

---

18/ E/CN.12/628/Add.3, II, Anexos tecnológicos.

Las economías de escala, con respecto a la inversión unitaria para 36 000 ton/año, ascienden a un 36 por ciento en el tamaño máximo considerado: 180 000 ton/año; las mayores unidades de síntesis recientemente construidas (Trinidad) poseen capacidades unitarias de 600 ton/día: cerca de 200 000 ton/año. En los países de la región las instalaciones existentes varían entre 16 000 ton/año (de fuel en Perú) 35 000 ton/año (de gases de refinería en Brasil y de gas natural en Venezuela), 65 a 70 mil toneladas (de gas natural en México) y 90 000 ton/año (de gas de refinería y/o gas natural en Colombia).

b) Costos

Hasta unas 35-40 mil ton/año predomina en los costos de producción la incidencia de las cargas de capital (38 a 42 por ciento del costo) luego se acentúa la influencia de las materias primas y servicios, cuya participación alcanza hasta un 47 por ciento del costo a 180 000 ton/año. Las economías de escala son apreciables con respecto a la escala base de 36 000 toneladas, a partir de unas 100 000 toneladas en que alcanzan al 18 por ciento del costo unitario base; tienden a sobrepasar un 27 por ciento del costo base para instalaciones de más de 200 000 ton/año. Al nivel de 180 000 toneladas anuales el 58 por ciento de la economía de escala deriva aún de las cargas de capital.

Acido sulfúrico

El ácido sulfúrico es uno de los productos químicos básicos de uso más extenso siendo el más económico de los ácidos minerales fuertes y su carácter de índice del desarrollo de la industria química habla por sí solo de su importancia. Una de las actividades que tradicionalmente aseguran la proporción mayor del consumo es la producción de fertilizantes: sulfato de amonio y superfosfatos; les siguen en importancia rubros tales como refinación de petróleo, rayón, productos químicos minerales diversos, metalurgia, etc.

Su fabricación a partir de azufre suple la mayor parte del consumo mundial, seguida de cerca por el tratamiento de compuestos sulfurados (piritas y blendas). Recientemente se le produce a partir de sulfato de calcio. La evolución tecnológica de las plantas de ácido sulfúrico ("cámaras de plomo", plantas de "contacto" en sus diversas modalidades)

/es conocida

es conocida y no merece aquí mayores comentarios. Se ha seleccionado como representativa de esta actividad la planta de contacto usual, que utiliza azufre; ésta consta de instalaciones para la fusión, filtración y combustión del azufre, la oxidación - sobre masas catalíticas o "contacto" - de los gases sulfurosos hasta anhídrido sulfúrico y, finalmente la absorción de este último en agua para obtener la calidad usual de ácido al 98 por ciento o los diversos tipos de "oleum" o ácidos sobresaturados en anhídrido, utilizados en operaciones de sulfonación (detergentes, etc.).

a) Inversiones

Las cifras correspondientes a unidades de contacto son:

10 000 ton/año	\$ 25 /ton
18 000 ton/año	21
36 000 ton/año	18
100 000 ton/año	15
300 000 ton/año	12

La escala de referencia adoptada es la de 36 000 ton/año y constituye ya una instalación de capacidad mediana (100 ton/día) frente al máximo alcanzado con un convertidor - 300 ton/día y posiblemente hasta 500 toneladas recientemente. Sin embargo es usual encontrar plantas de 10, 15, 30 ton/día, capacidades que son las más frecuentes en América Latina, siendo contadas las unidades de 100 ó 200 ton/día.

Las economías de escala en la inversión unitaria alcanzan un 33 por ciento entre la capacidad de referencia - 36 000 toneladas - y 180 000 ton/año. Por el contrario, el mayor costo de capital en plantas de menos de 10 000 toneladas llegaría hasta un 70 a 80 por ciento de la inversión unitaria base.

Los exponentes de capital son ligeramente variables, pasando de un valor inicial de 0.70 a más de 0.80 al nivel de 100 a 200 mil ton/año.

b) Costos

Predominan inicialmente los rubros relativos a la mano de obra y otros relativos a ella - 38 a 50 por ciento del costo entre 10 y 18 /mil toneladas -;

mil toneladas -; sin embargo a capacidades altas las materias primas constituyen el 77 por ciento del costo, situación característica de esta actividad.

Las economías de escala en los costos tienden a un valor máximo de 25 por ciento del costo unitario base (a 36 000 toneladas) y se alcanzan a partir de unas 260 a 300 mil ton/año. El mayor costo observable en plantas pequeñas llega a un 57 por ciento, para plantas de 10 000 ton/año.

III

GRAFICOS DE INVERSIONES UNITARIAS  
COSTOS Y ECONOMIAS DE ESCALA EN LOS COSTOS

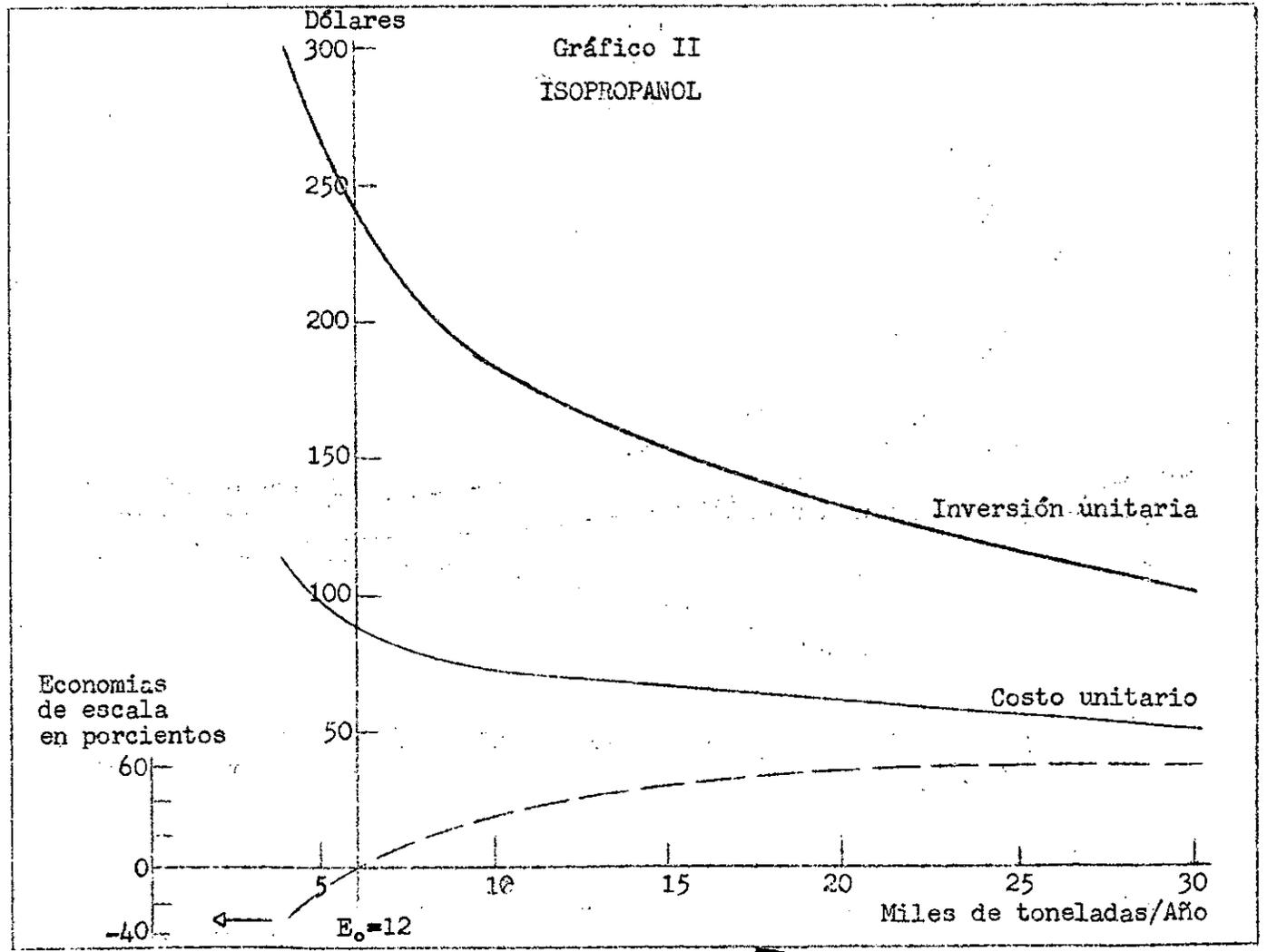
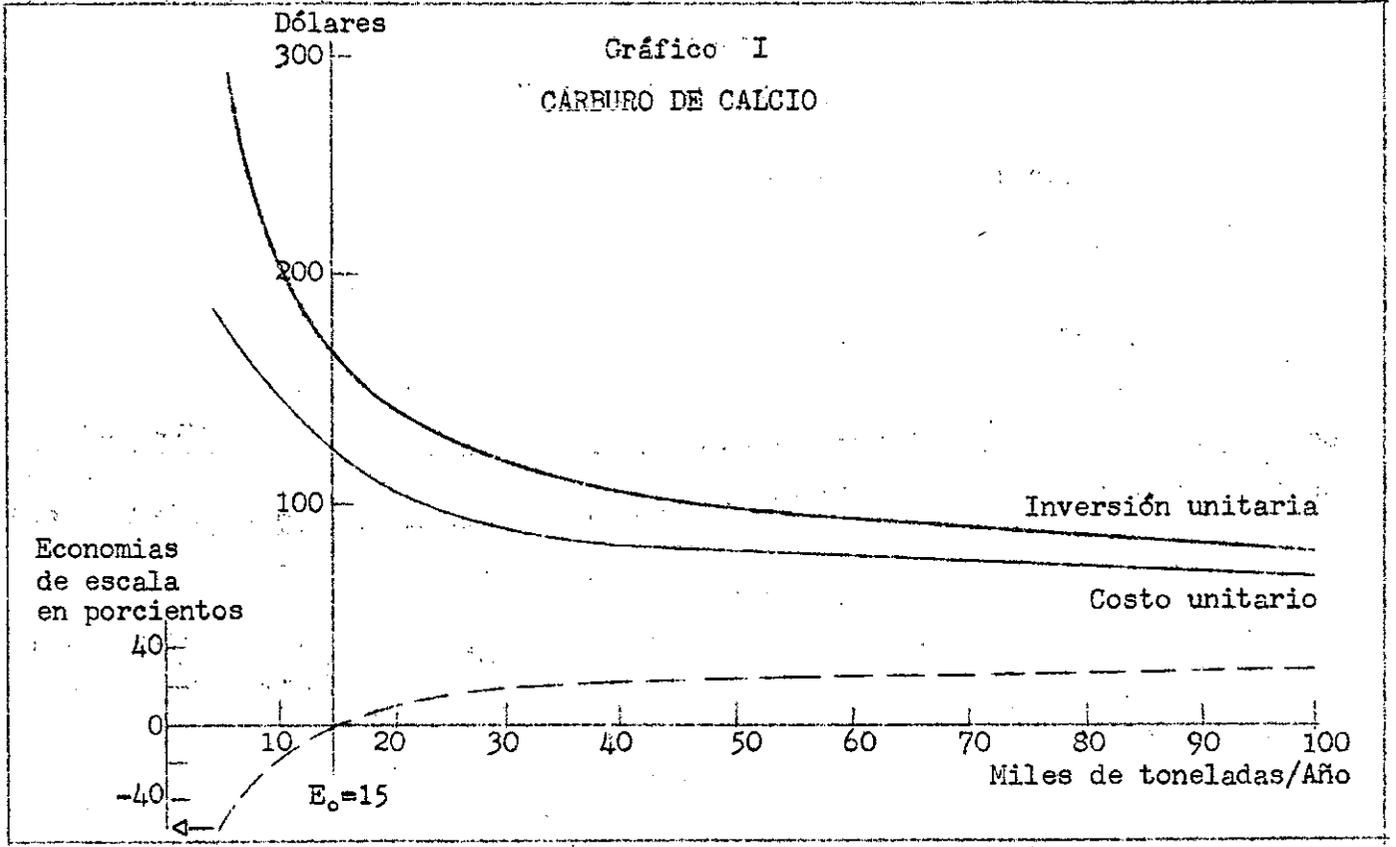


Gráfico III  
CLORURO DE POLIVINILO

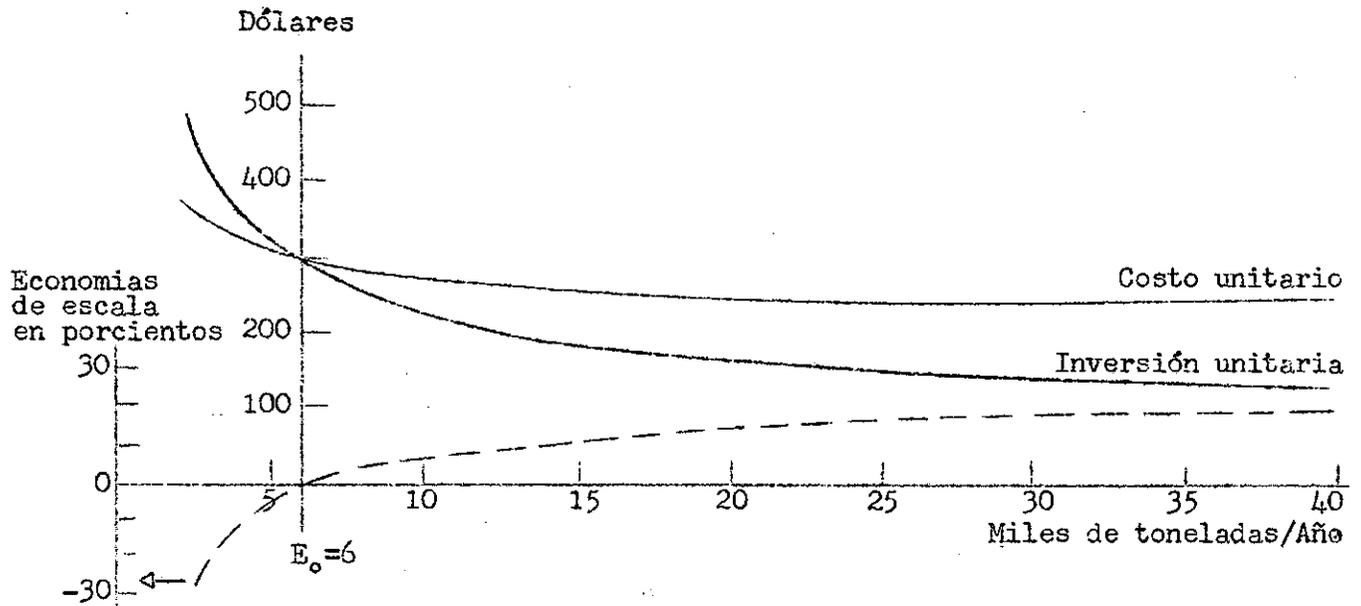


Gráfico IV  
OXIDO DE CALCIO  
(CAL)

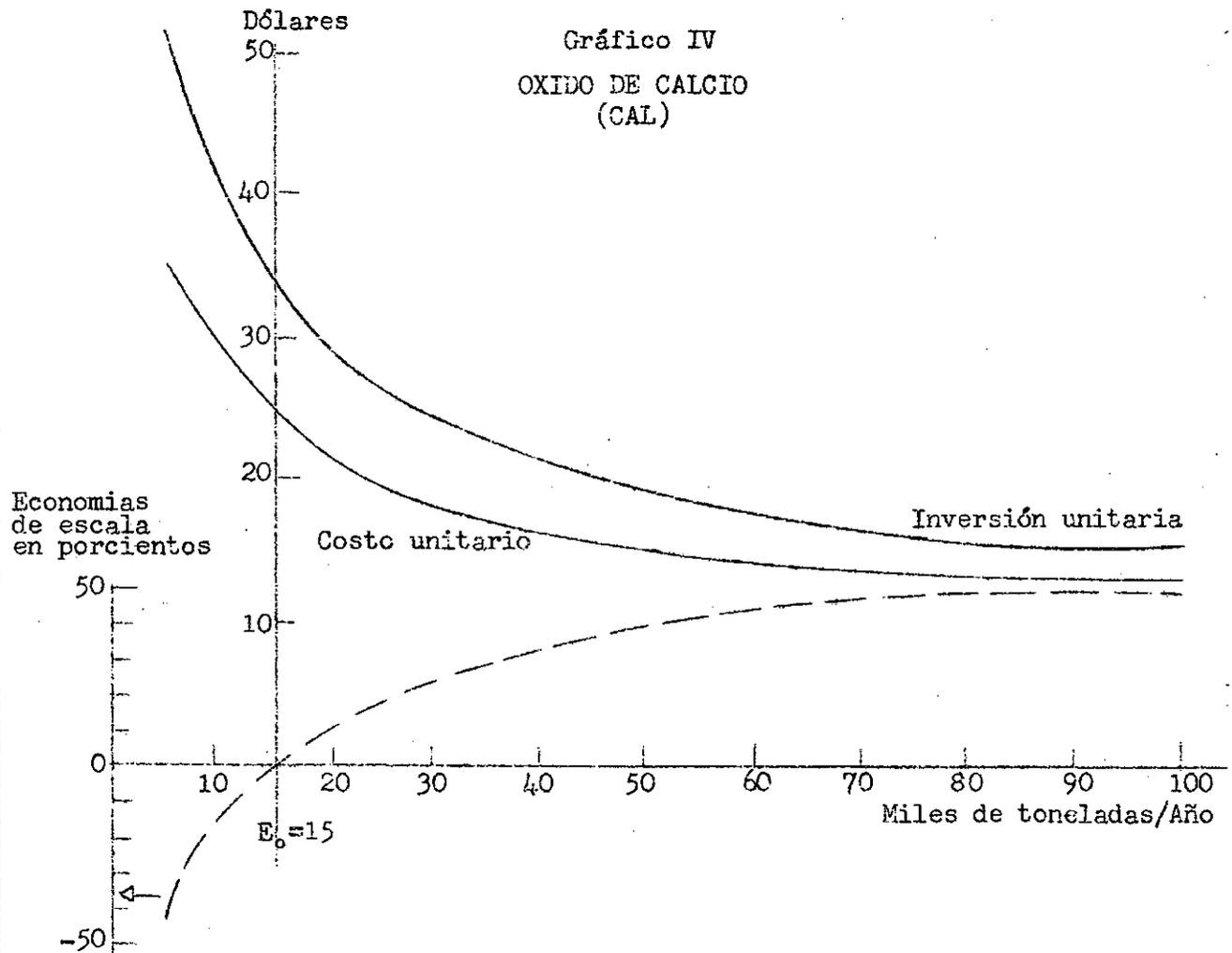


Gráfico V  
BUTADIENO

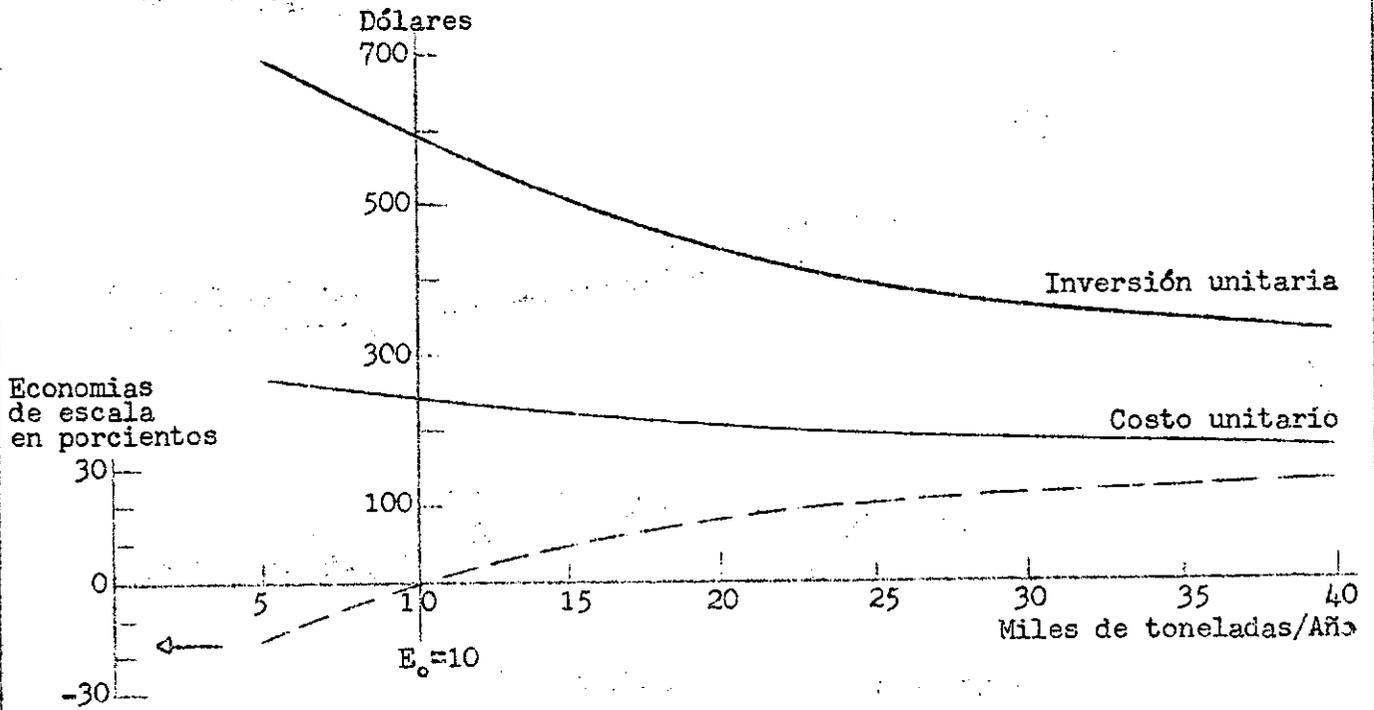


Gráfico VI  
ACETILENO DE CARBURO

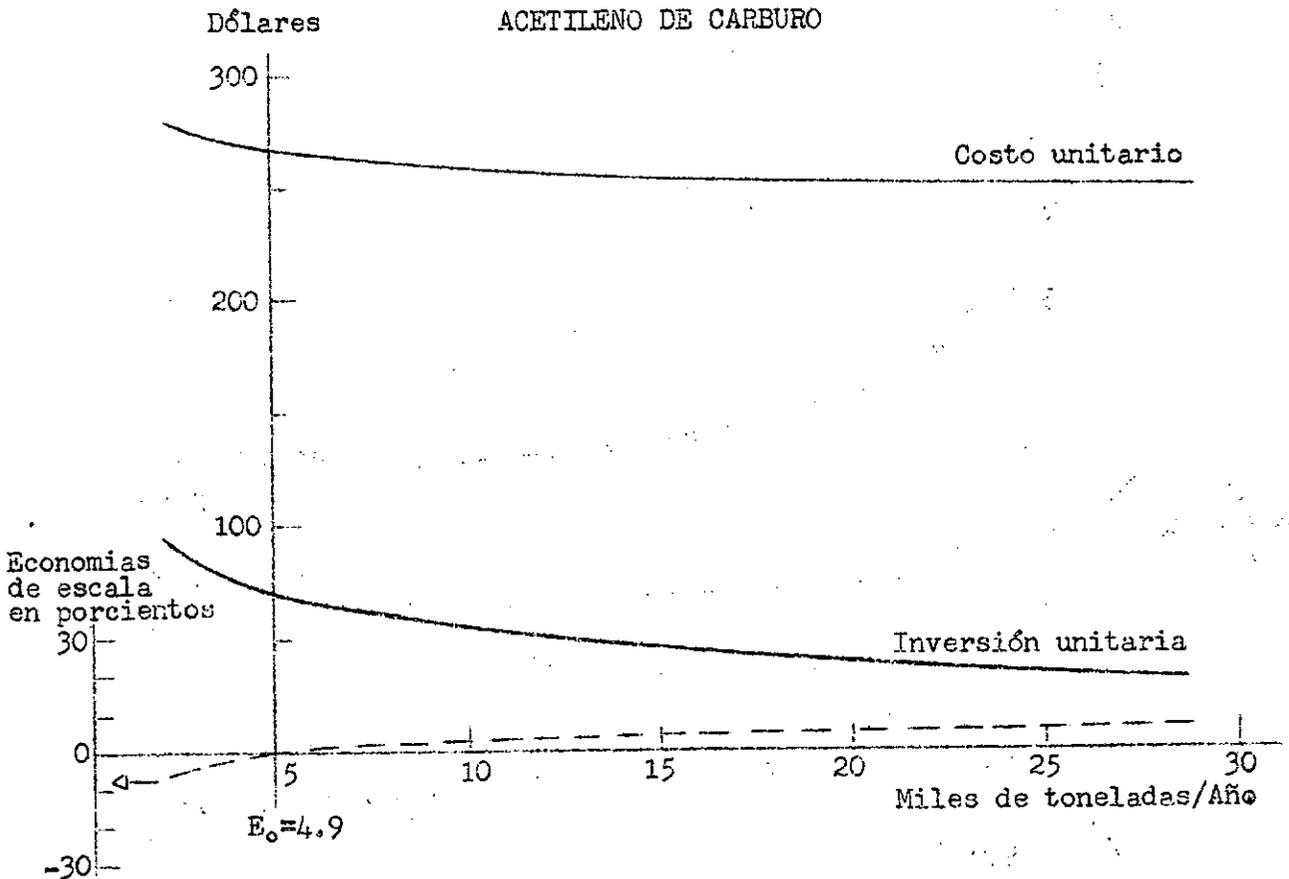


Gráfico VII  
ACETALDEHIDO

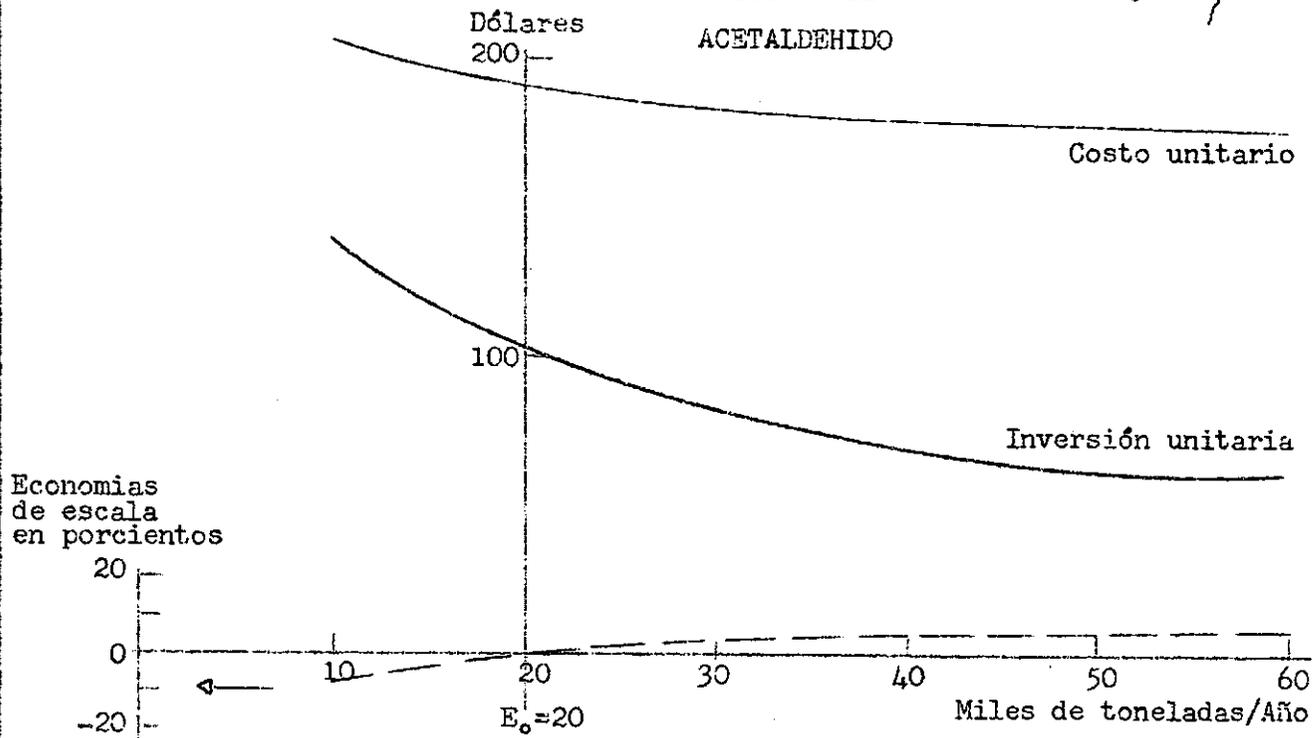


Gráfico VIII  
NEGRO DE CARBONO

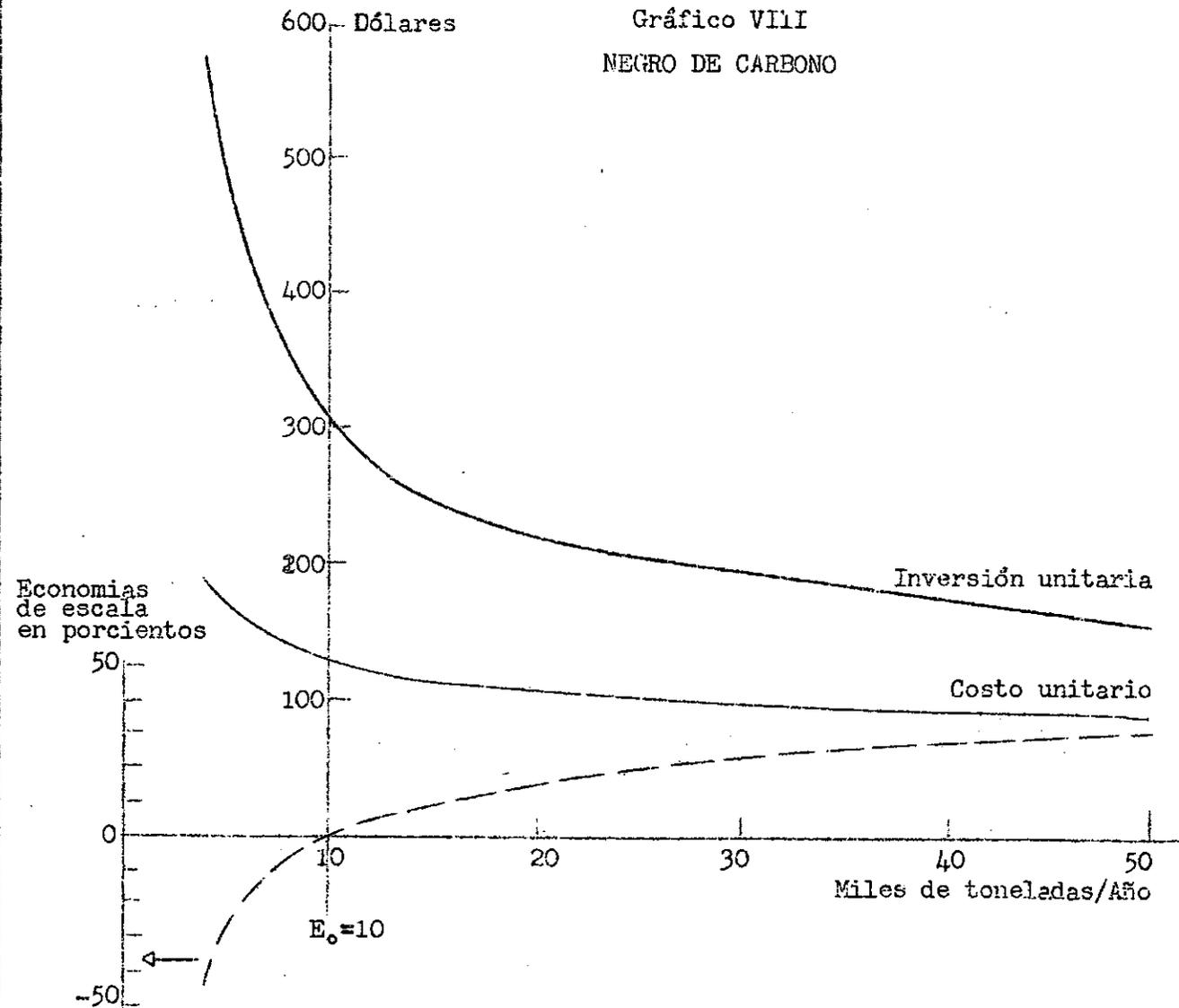


Gráfico IX  
ETILENO  
(A PARTIR DE NAFTA)

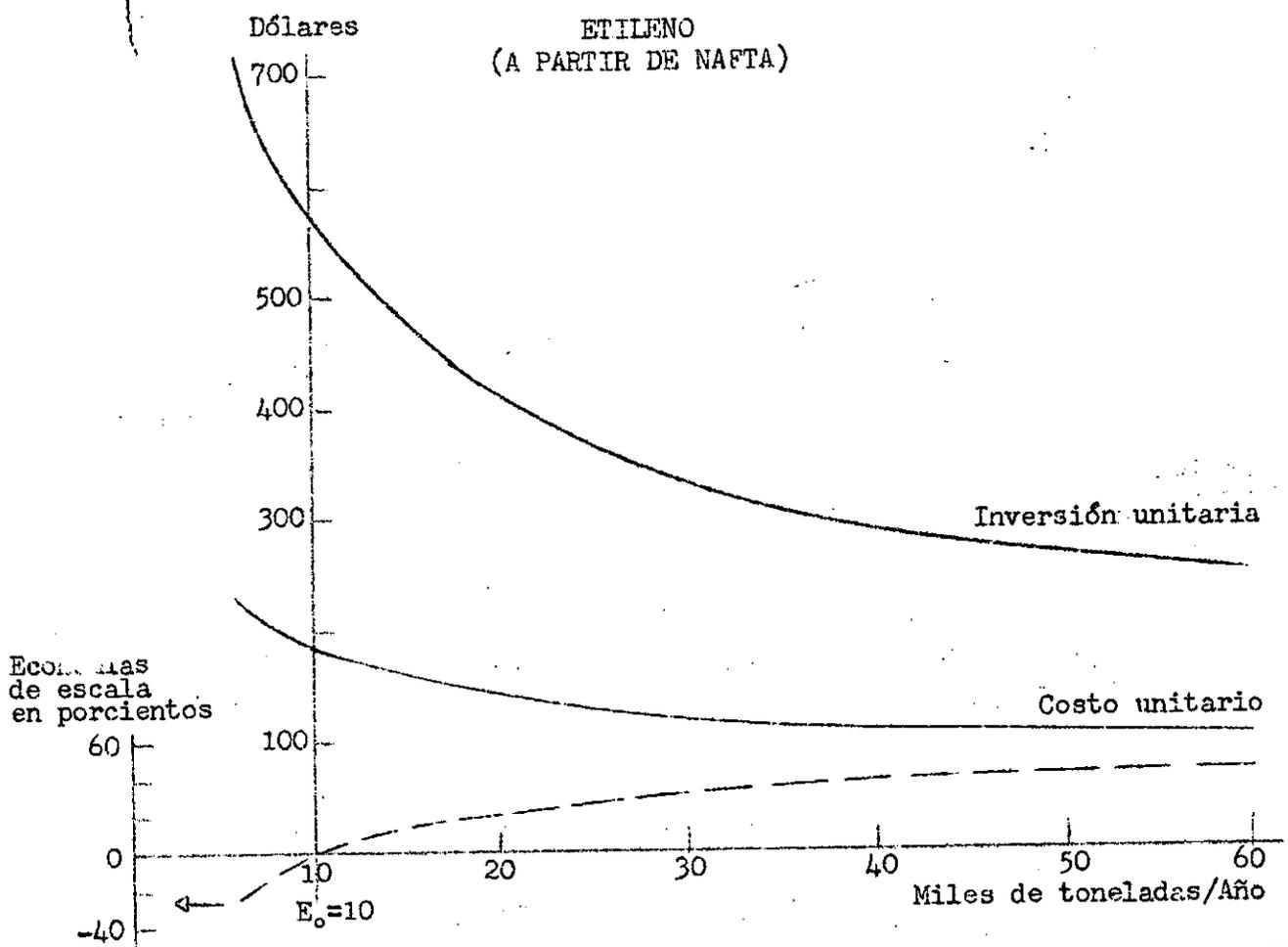


Gráfico X  
DIOXIDO DE TITANIO

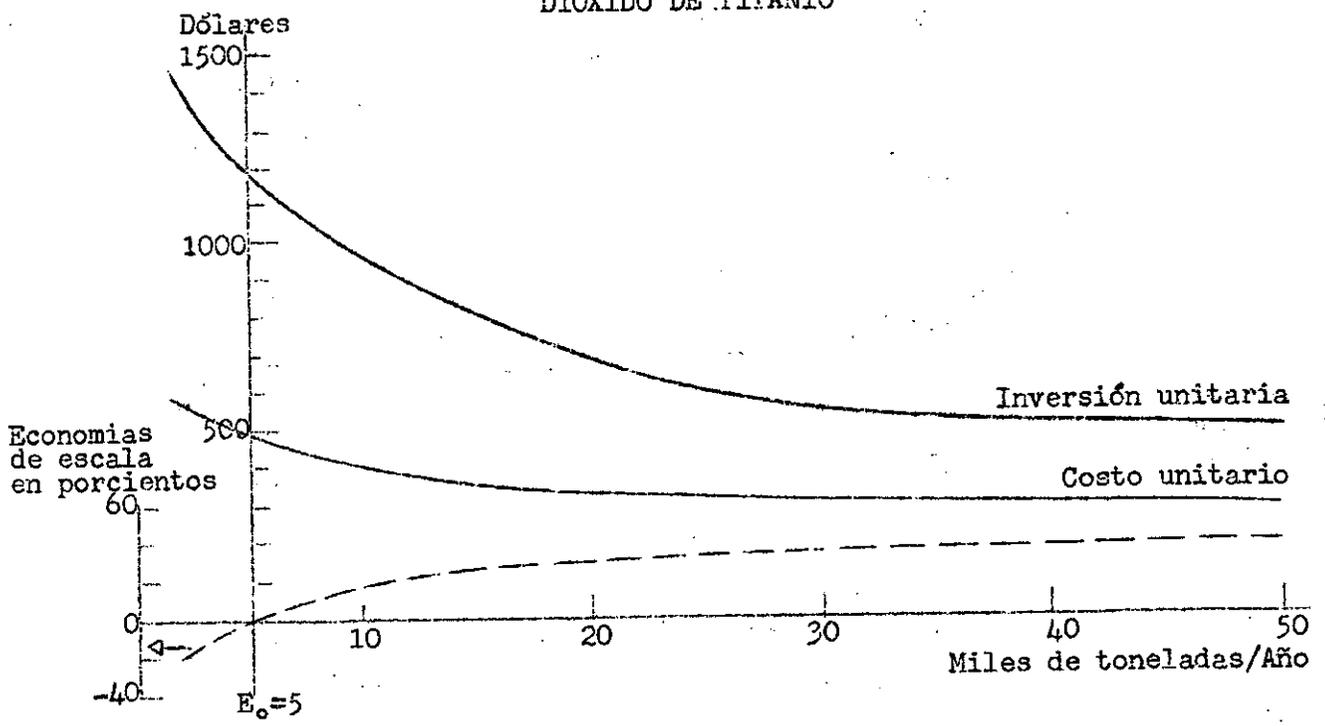


Gráfico XI

UREA

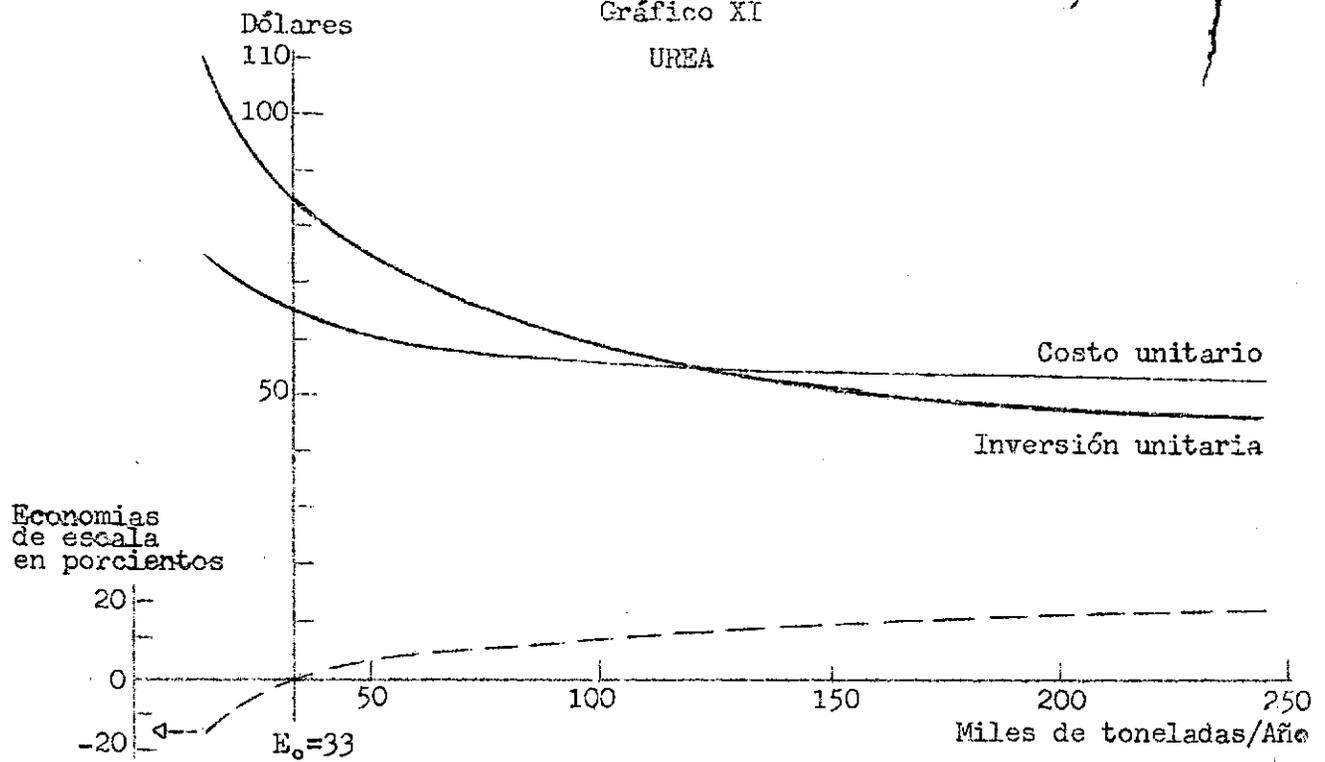


Gráfico XII

ACETILENO DE GAS NATURAL

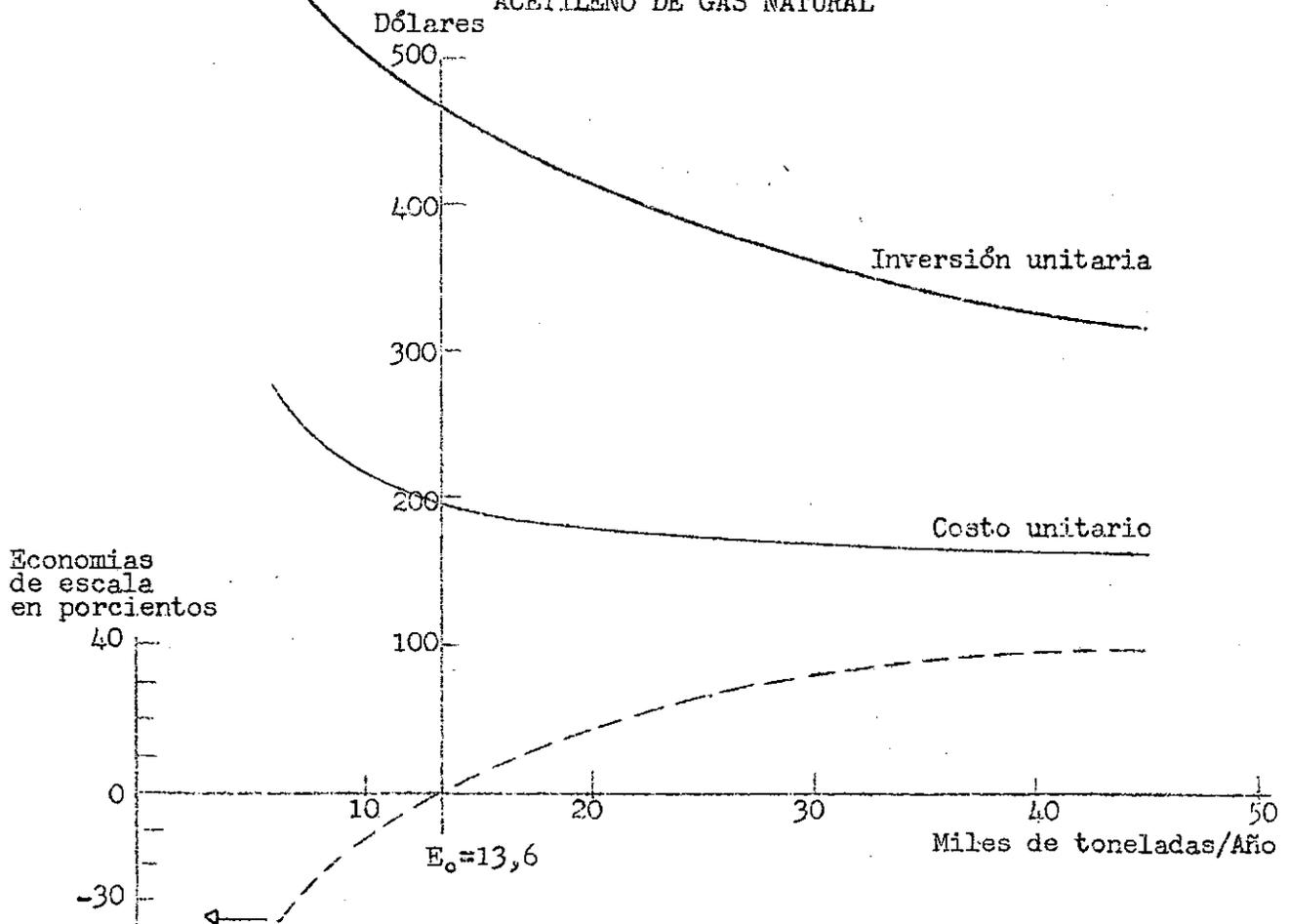


Gráfico XIII  
ESTIRENO

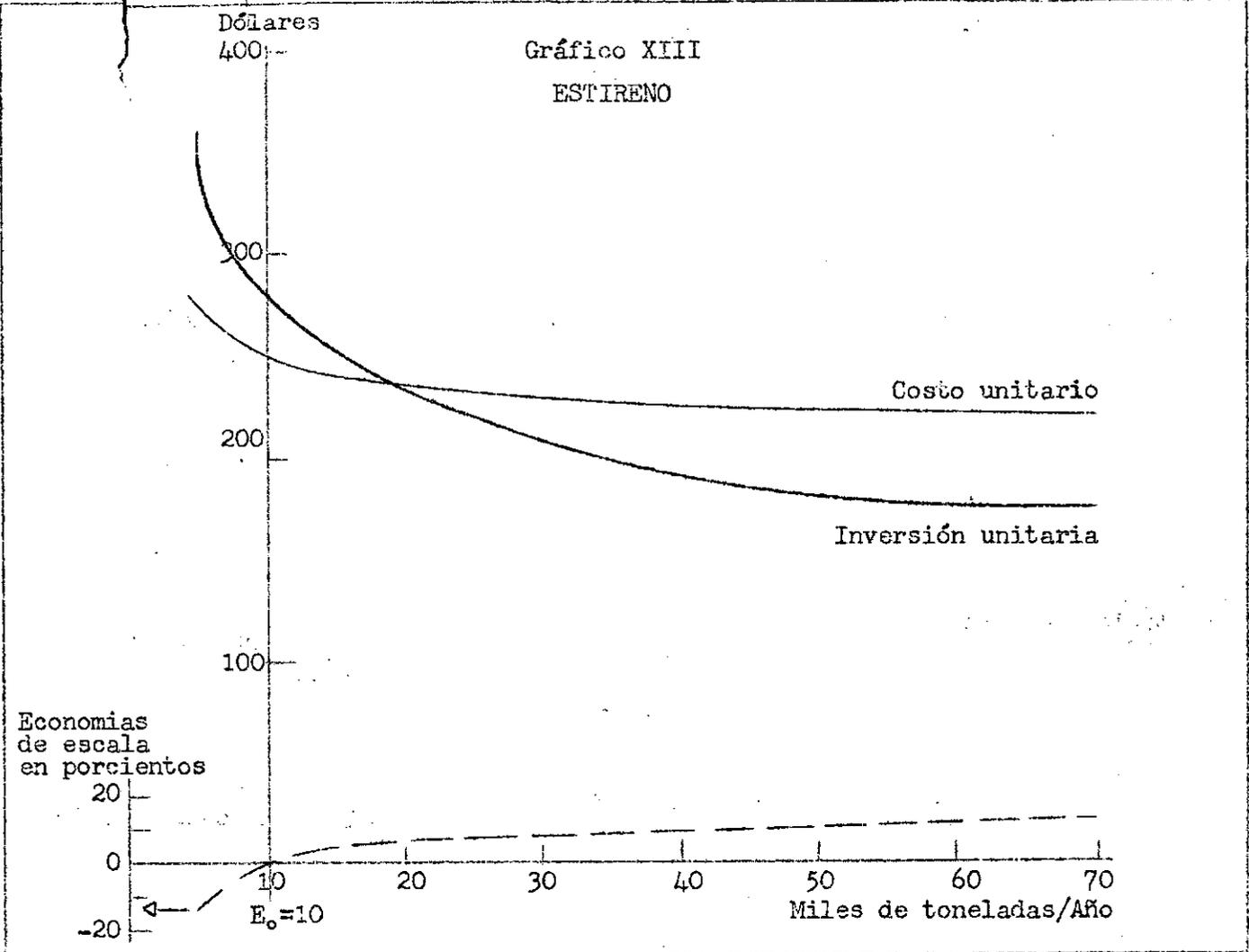


Gráfico XIV  
POLIETILENO

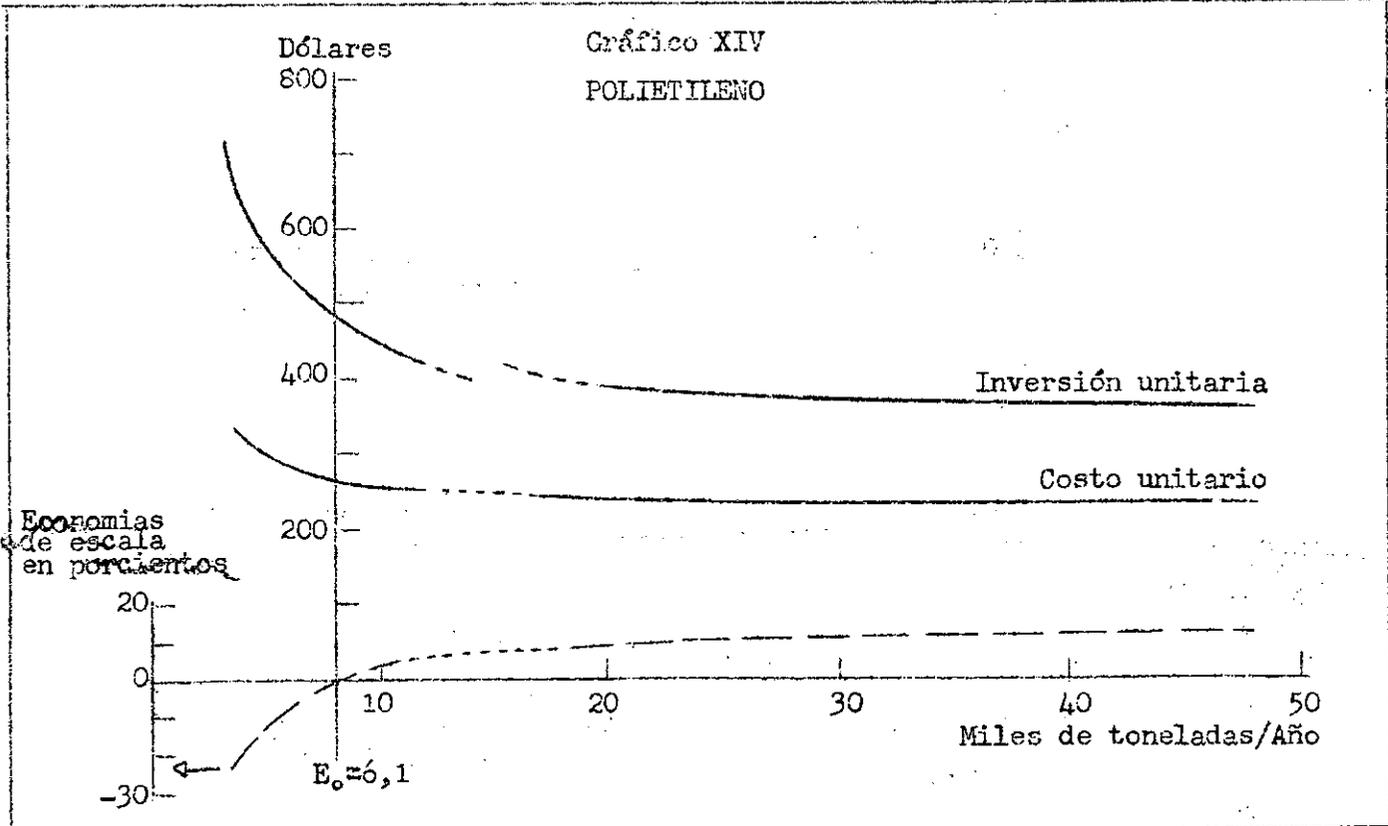


Gráfico XV  
METANOL

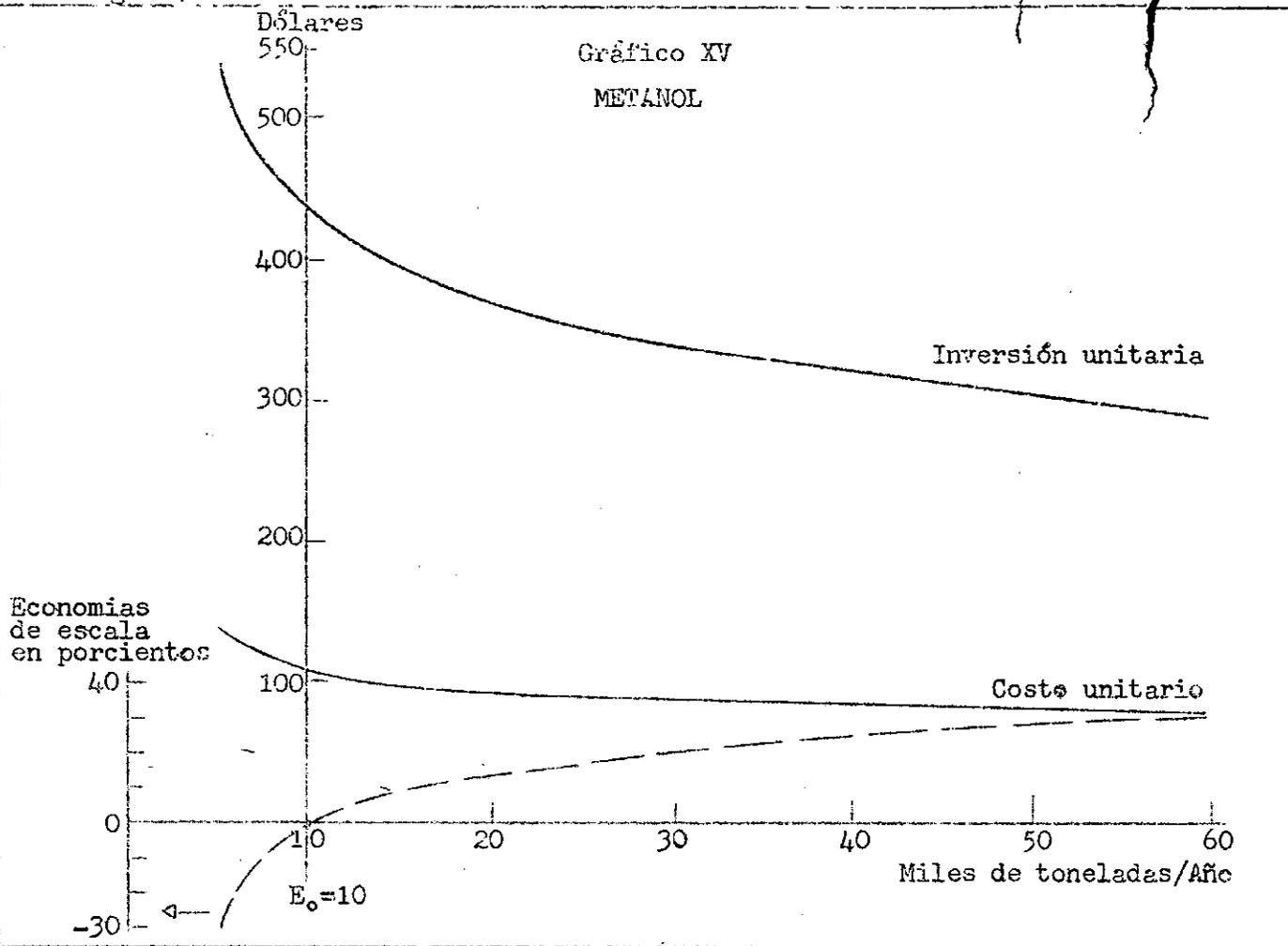


Gráfico XVI  
CLORO-SODA

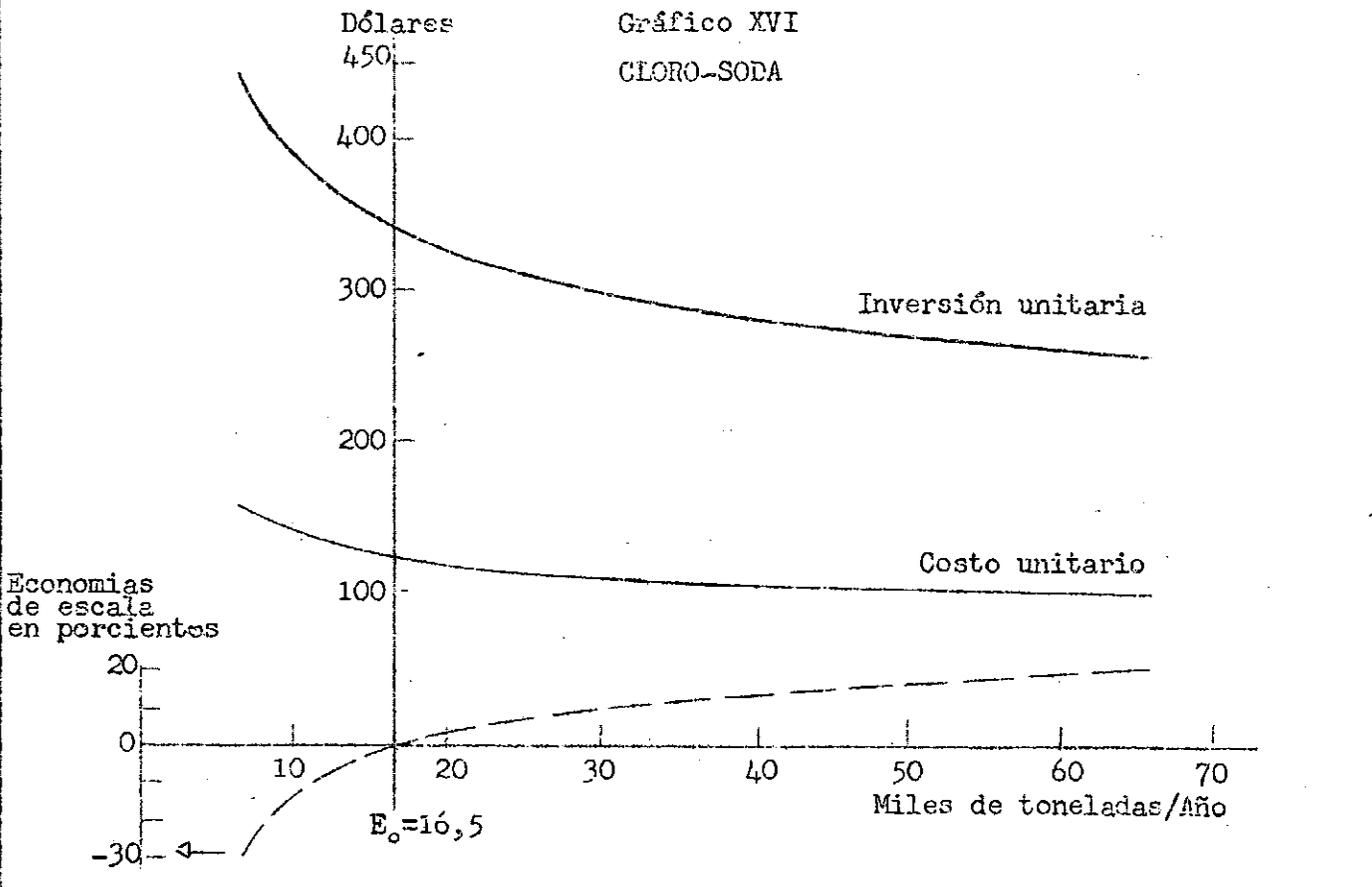


Gráfico XVII  
AMONIACO  
(GAS NATURAL)

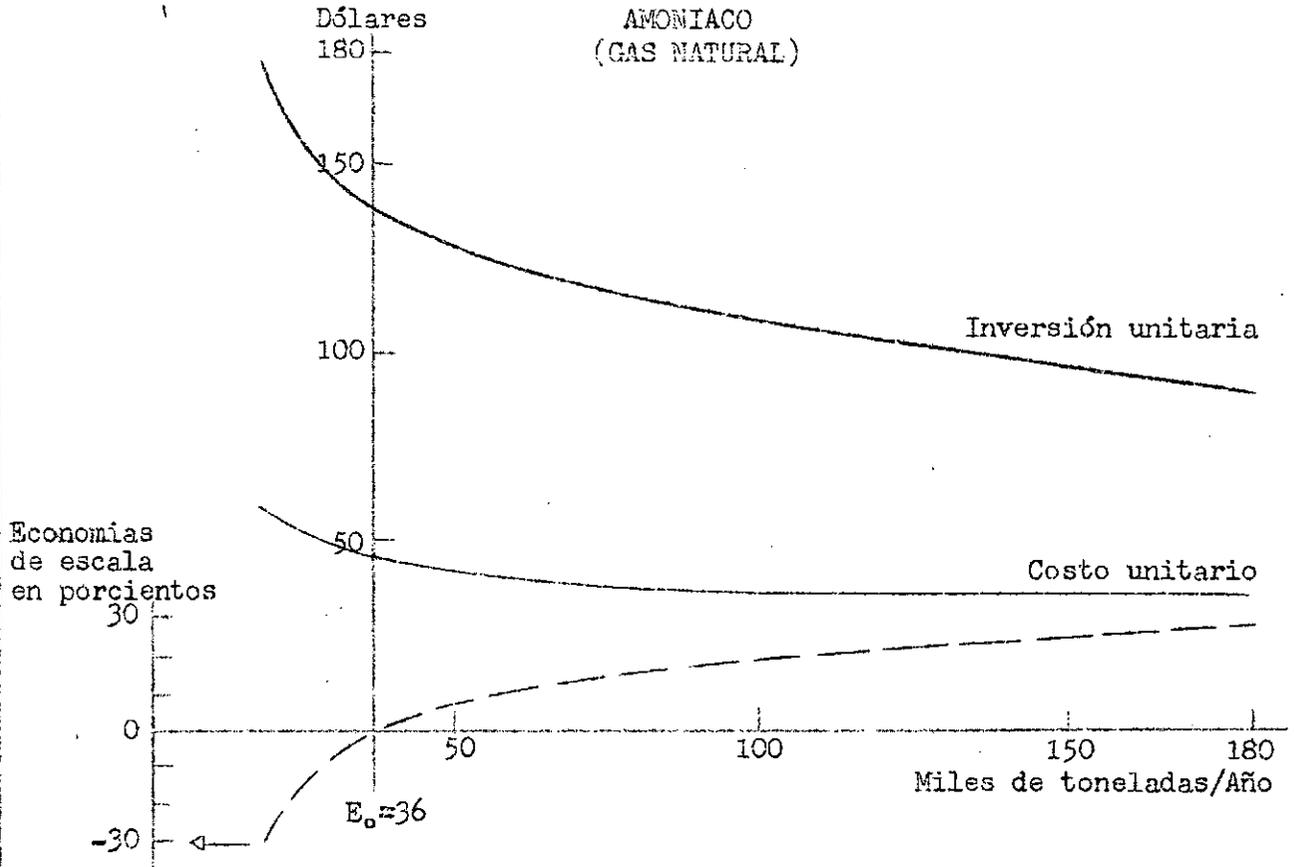


Gráfico XVIII  
ACIDO SULFURICO

