

Agustín Escardino Benloch

Catedrático de Química Técnica
de la Facultad de Ciencias de
Valencia y Director del Colegio
Universitario de Castellón de la
Plana.

EL PETROLEO.
ALGUNOS ASPECTOS DE SU INDUSTRIA

*Lección inaugural pronunciada en la
apertura del curso 1972-73 en el Colegio
Universitario de Castellón de la Plana.*

El título del tema elegido para esta lección inaugural es:

“EL PETROLEO: ALGUNOS ASPECTOS DE SU INDUSTRIA”

Tres razones me han impulsado principalmente a escoger este tema:

1.º Su estudio cae de lleno dentro de la Química Técnica, disciplina cuyas enseñanzas están a mi cargo, desde hace once años, en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valencia.

2.º Su interés local. En Castellón se encuentra ubicada una Refinería capaz de tratar 4 millones de Toneladas de petróleo crudo/año. Se cuenta también con una importante planta petrolquímica y una central térmica, recién construida, que se abastecen con parte de las naftas y fuel producidas en la citada refinería. Asimismo existe el proyecto de construir una red de tuberías para distribuir los gases ligeros de Refinería por toda la zona industrial (especialmente la azulejera) a fin de utilizarlos como combustible industrial.

3.º Su importancia. El Petróleo es la materia prima principal para la elaboración de combustibles, carburantes, aceites lubricantes, parafinas y asfaltos, constituyendo además junto con el gas natural, el punto de partida para la pujante industria petrolquímica que, a los cincuenta años de su nacimiento, se ha convertido en la más importante rama de la Química Industrial.

Desde 1859, año en que Edwin L. Drake realizó la primera perforación petrolífera en Pensylvania, la industria del petróleo (que comprende: exploración, extracción de crudo, transformación o refino, así como transporte y distribución de crudo y productos terminados) se ha desarrollado tan extraordinariamente que ha llegado a convertirse en una de las de mayor envergadura de nuestro tiempo, ejerciendo una influencia decisiva en el desarrollo tecnológico y económico de los países. En la actualidad, millones de productos derivados del petróleo son imprescindibles para multitud de procesos industriales, transportes, operaciones militares, actividades comerciales y producción de energía.

El petróleo puede afirmarse pues que ha desencadenado en el mundo una verdadera revolución industrial, económica y política.

A continuación vamos a considerar algunos de los aspectos más importantes, desde el punto de vista químico-técnico del petróleo y su industria.

1. COMPOSICION Y ORIGEN DEL PETROLEO

Las primeras preguntas que nos planteamos son: ¿Cuál es la naturaleza del petróleo?, ¿Cómo se formó?. Vamos a tratar de contestarlas sucesivamente.

1.1. Composición.

El petróleo que mana de los pozos petrolíferos, conocido con el nombre de petróleo crudo (o simplemente "crudo"), es un líquido más o menos viscoso y negrozco que contiene gases y sólidos en disolución o suspensión. Es un producto complejo de composición química variable, constituido principalmente por hidrocarburos de uno a cuarenta o más átomos de carbono (algunos investigadores han comprobado la presencia de parafinas de hasta setenta y ocho átomos de carbono), que contienen, como impurezas, pequeñas cantidades de compuestos de azufre, nitrógeno y oxígeno. Ya que la casi totalidad de los compuestos que contiene son hidrocarburos, en los que la razón C/H se mantiene aproximadamente constante, el análisis elemental de cualquier crudo conduce a resultados que varían dentro de muy estrechos márgenes. La composición elemental de cualquier crudo daría cifras del orden de las siguientes: (1).

	% en peso	
Carbono	83	— 87
Hidrógeno... ..	11	— 15
Azufre	0,1	— 6
Nitrógeno	0,1	— 1,5
Oxígeno.	0,3	— 1,2

Se estima que el número de componentes del crudo asciende a varios millares, de los que solamente es posible identificar las especies químicas correspondientes a las fracciones más ligeras (con menos de ocho átomos de carbono). A partir de C-10 ya es más difícil la identificación de los distintos componentes debido a la presencia de muchos isómeros y estructuras complejas. (*)

El crudo está normalmente constituido por los componentes siguientes: (2)

- *Hidrocarburos saturados.* Pueden ser de cadena lineal (parafinas) o ramificada (isoparafinas). Son gaseosos, líquidos o sólidos, según su estructura y su peso molecular.
- *Hidrocarburos nafténicos.* Son hidrocarburos saturados de estructura cíclica, conteniendo generalmente, de 5 a 7 átomos de C en el anillo.

*) Los hidrocarburos de 12 átomos de carbono tienen 365 isómeros; los de 25 átomos de carbono, 36,797,588, etcétera.

- *Hidrocarburos aromáticos*. Se caracterizan por poseer un anillo aromático en su estructura.
- *Hidrocarburos policíclicos*. Son compuestos nafténicos y aromáticos conteniendo más de un anillo en su estructura.
- *Hidrocarburos olefinicos*. Suelen estar presentes en muy pequeña proporción.
- *Compuestos de azufre*. Las formas combinadas del azufre que con mayor frecuencia se encuentran en el crudo son el sulfuro de hidrógeno y tiofenos. No obstante también se encuentra en forma de mercaptanos, sulfuros de alquilo y otros compuestos. En la mayor parte de estas moléculas interviene un sólo átomo de S.
- *Compuestos oxigenados*. Son principalmente fenoles y ácidos alifáticos y en menor proporción se encuentran ácidos de alcohol-cicloparafinas, alcoholes, etc...
- *Compuestos nitrogenados*. Están constituidos fundamentalmente por bases orgánicas, como piridinas, quínoleinas, pirroles, etc...
- *Trazas de metales*. Son numerosos los metales localizados en el petróleo, su concentración oscila entre mil y menos de una parte por billón. Suelen estar en suspensión generalmente en forma de sales inorgánicas.

Tanto el contenido en impurezas —no hidrocarburos—, como los tipos de hidrocarburos presentes y la proporción en que se hallan, varían de unos crudos a otros, de modo que éstos se pueden caracterizar por el tipo de hidrocarburo que contienen en mayor proporción. Atendiendo a este criterio, Schanen distingue nueve tipos de petróleo crudo:

- i) "Crudos de base parafínica". Contienen un 75%, como mínimo de compuestos parafínicos y pequeñas fracciones de naftenos y asfaltos.
- ii) "Crudos de base nafténica". Con un mínimo del 75% de cicloparafinas.
- iii) "Crudos de base aromática". Contienen un mínimo del 50% de compuestos aromáticos de bajo peso molecular, y elevado porcentaje de naftenos, junto con pequeñas cantidades de asfaltos y fracciones lubricantes.
- iv) "Crudos de base asfáltica". Con un mínimo del 60% de resinas y asfaltos.
- v) Finalmente hay cinco tipos de crudos mixtos (de base aromático-asfáltica, parafino-nafténica, etc...)

El conocimiento de la "base" constitutiva del petróleo es muy importante para el "refinador", pues, como se verá luego, el tratamiento a que conviene someter a un crudo depende de su constitución.

1.2. Origen y yacimientos.

Se han publicado numerosos trabajos y se han propuesto diversas teorías respecto al origen del petróleo, entre las que cabe destacar las siguientes (2,3):

- La teoría "inorgánica", propuesta por *Mendelejeff*, *Berthelot*, etc..., sostiene que el petróleo se formó en el interior de la tierra al reaccionar el agua con determinados carburos metálicos. En apoyo de esta teoría cabe citar los trabajos de *Moissan*, que obtuvo hidrocarburos a partir de agua y algunos carburos metálicos, y los de *Sabatier y Senderens*, que, por hidrogenación del acetileno, que resulta al reaccionar el carburo de calcio y el agua, obtuvieron hidrocarburos análogos a los del petróleo.
- La teoría cósmica, propuesta recientemente por *Sokolov* y otros, que atribuye origen cósmico al petróleo, basándose en que se han encontrado hidrocarburos análogos a los del petróleo en algunos meteoritos y en los basaltos y lavas del Etna y de Java. *Schmidt*, *Urey* y otros cosmólogos suponen que en la nebulosa de gas y polvo cósmico frío de la que se formó la tierra y otros planetas debió haber cierta abundancia de hidrocarburos.
- La teoría orgánica, que es la aceptada actualmente por la mayor parte de los investigadores, sostiene que el petróleo se formó a partir de sustancias orgánicas, consistentes principalmente en microorganismos marinos de origen vegetal y animal (plankton y nekton), que se depositaron en el fondo de mares antiguos. Comprimitos por movimientos geológicos posteriores quedaron aprisionados en lugares exentos de oxígeno, donde experimentaron una descomposición lenta, a presiones y temperaturas elevadas, a la que probablemente colaboraron microorganismos o bacterias anaerobios, la acción catalítica de ciertos compuestos inorgánicos (tales como óxidos de aluminio hidratados, silicatos de aluminio hidratados, etc...), e incluso quizá la radioactividad emitida por algunas rocas.

Esta teoría se apoya fundamentalmente en los siguientes hechos:

- i) El crudo posee actividad óptica, debida quizá a compuestos derivados de la colesteroína, de las fitosterinas, y posiblemente también de resinas y materias proteicas.
- ii) En el petróleo, la relación S/N permanece constante, lo que parece evidenciar su origen proteínico.
- iii) *Treibs*, al analizar 29 muestras de petróleo de diferente origen, encontró derivados de la clorofila y de la hemina en todas ellas. Así pues, deben haber contribuido a la formación del petróleo, tanto los vegetales que contienen clorofila, como los animales que son portadores de hemoglobina.
- iv) La presencia de hormonas estrógenas en el petróleo.

Estos argumentos parecen demostrar el origen orgánico (animal y/o vegetal) del petróleo.

Aunque esta última teoría, como se ha indicado antes es la generalmente admitida, no existe una clara evidencia de la misma, debido, entre otras razones, a que los yacimientos de crudo no se suelen encontrar en los lugares donde aquél se formó. Se admite que el petróleo se ha ido desplazando lentamente en sentido lateral o ascendente a través de estratos geológicos porosos, hasta aflorar a la superficie de la tierra (en cuyo caso los productos ligeros se evaporan y el resto se oxida a materias asfálticas), o hasta encontrar algún obstáculo que lo ha aprisionado y detenido en su marcha. De aquí que los depósitos naturales o bolsas de petróleo se encuentren normalmente en pliegues de la corteza terrestre denominados anticlinales (que almacenan el petróleo en la parte superior del arco que forma el terreno), junto a formaciones inclinadas cerradas por fallas, en plegamientos o en cualquier otro tipo de discontinuidades de los estratos terrestres.

En contra de lo que se cree generalmente, el petróleo no forma lagos subterráneos ni rellena oquedades del manto sedimentario, sino que se encuentra embebido o impregnando rocas porosas, de la misma forma que el agua empapa una esponja. Las bolsas de petróleo están constituidas generalmente por tres capas perfectamente diferenciadas; la inferior de agua salada, la intermedia de petróleo y la superior de gas natural comprimido (que contiene de un 50 a un 99% de metano).

2. PROSPECCION, SONDEO, EXTRACCION Y TRANSPORTE DE CRUDO

2.1. Prospección.

La búsqueda de nuevos yacimientos de petróleo es una especialidad geotécnica de gran actualidad. Los trabajos de prospección requieren un detallado reconocimiento geológico de los terrenos para dar con estructuras en las que, en principio, cabe la posibilidad de que se haya almacenado el petróleo. Estos estudios implican técnicas muy variadas: cartografía, fotografía aérea, trabajos petrológicos y paleontológicos, así como el empleo de métodos geofísicos, tales como el batimétrico (para exploraciones submarinas), el seismométrico, el gravimétrico y el magnetométrico, basados estos tres últimos en la influencia que tiene la estructura del subsuelo sobre la forma de propagarse una onda sísmica provocada artificialmente por una explosión, sobre el valor de la aceleración de la gravedad y sobre el campo magnético terrestre respectivamente (4).

2.2. Sondeo.

Descubierto el yacimiento, hay que determinar su extensión, la posición de las capas de agua salada y de gas, así como el espesor, porosidad y permeabilidad de la roca madre.

A continuación se procede a la perforación para pinchar la capa de roca impregnada de petróleo.

Las técnicas de sondeo están basadas en el procedimiento utilizado desde hace muchos años para el alumbramiento de agua en los pozos artesianos. Se han perforado millones de pozos desde 1859, a profundidades cada vez mayores, superándose a veces los 7.000 metros.

A medida que se va profundizando, se procede al "entubado" que consiste en recubrir las paredes del pozo con tubos de acero protectores de diámetro decreciente, formando un encamisado completo del mismo. El equipo de sondeo (brocas, tubos, etc.) está soportado por una torre apoyada en el suelo o sobre una plataforma (a su vez apoyada en el fondo) según se trate de una perforación en tierra firme o en el mar.

2.3. Extracción.

Una vez alcanzada la bolsa o yacimiento se procede a la extracción del petróleo, que puede realizarse por medios naturales o artificiales.

La extracción natural es posible gracias a la presión del agua subyacente o del gas natural libre o disuelto en el petróleo, que lo empujan hacia arriba a través de los pozos. La cantidad de crudo que puede extraerse por este procedimiento varía generalmente entre 40-70% por presión de agua; 30-60% por presión de gas libre y 10-30% por presión de gas disuelto.

Cuando la presión es insuficiente para hacer subir el petróleo de forma natural, se recurre a su extracción por bombeo, y finalmente para agotar el yacimiento se inyecta agua o gas comprimido.

En ocasiones, la estructura de los estratos porosos que contienen el petróleo dificulta extraordinariamente el desplazamiento de éste a su través. En estos casos se procede a emplear métodos de "activación" mecánicos y/o químicos que aumentan el tamaño de los poros y rendijas, donde está ocluido el crudo, facilitando así su circulación.

Inmediatamente después de abrir un pozo, se cubre la boca con una cabeza de erupción llamada en el argot petrolero "Árbol de Navidad" por las múltiples válvulas, codos, conexiones, llaves e instrumentos de control que lleva aparejados. Su misión es regular el caudal de crudo a extraer ya que, hoy en día, la explotación de un yacimiento se hace en forma ordenada a fin de agotar al máximo el petróleo que contiene. Actualmente no se intenta extraer el crudo de un yacimiento en el menor lapso de tiempo posible, como se hacía antiguamente, pues, operando de ese modo, se queda en el subsuelo gran parte de un petróleo que no podrá recuperarse jamás.

2.4. Transporte.

El transporte de crudo desde los centros productores a los consumidores se efectúa normalmente por oleoductos o con barcos petroleros. El petrolero de gran tonelaje resulta más barato a igualdad de distancias, mientras que el oleoducto se prefiere cuando supone un acortamiento considerable del recorrido, comparándolo con el marítimo. Además, su explotación automática reduce al mínimo los gastos de mano de obra y de mantenimiento, evita el retorno en vacío y puede funcionar sin interrupción día y noche. Todas estas ventajas compensan su elevado coste.

3. IMPORTANCIA, PRODUCCION, DEMANDA Y RESERVAS

3.1. Importancia.

El petróleo se utiliza principalmente como fuente de energía primaria y como proveedor de materias básicas para la industria química.

3.1.1. Como fuente de energía.

El petróleo es hoy en día la fuente de energía más barata, más abundante y más versátil. El 85-90% del crudo que se consume se transforma en diversos combustibles líquidos (G.L.P., gasolinas, keroseno, combustible para reactores, gas-oil y fuel-oil) que sirven para satisfacer la mayor parte de las necesidades energéticas mundiales.

A lo largo de la década de los sesenta, los combustibles líquidos derivados del petróleo han sustituido al carbón como fuente principal de energía primaria, a escala mundial, desplazándolo del privilegiado lugar que ocupaba desde los albores de la era industrial. Como puede apreciarse en la Tabla 1, el 32,5% de la energía consumida en el mundo, durante 1960 procedía del petróleo y el 51% del carbón, mientras que en 1969 dichos porcentajes se habían modificado ya sensiblemente en favor del primero, siendo del 41,6% y del 36,8% respectivamente. La importancia de estas cifras se puede calibrar mejor si se manejan valores absolutos: Durante 1969 el consumo mundial de energía ascendió a unos 4.300 millones de Tm. equivalentes de crudo (*), de los cuales alrededor de 1.800 millones procedían del petróleo.

Para 1980 se espera que la contribución de los productos petrolíferos a la producción mundial de energía aumente hasta el 52,4%, disminuyendo la del carbón hasta un 21%.

(*) 1 Tm. equivalente de petróleo crudo =

65.213.000 kJ = 1,56 Tm. equivalente de carbón (TEC).

TABLA 1 (5,6)

Contribución de las diferentes fuentes de energía a la producción mundial de energía primaria (%)

Año	Carbón	Petróleo	Gas natural	Hidráulica	Nuclear
1960	51	32,5	14,5	2,0	Desp.
1969	36,8	41,6	19,5	2,1	Desp.
1980	21	52,4	18,1	5,1	3,4

(Previsto)

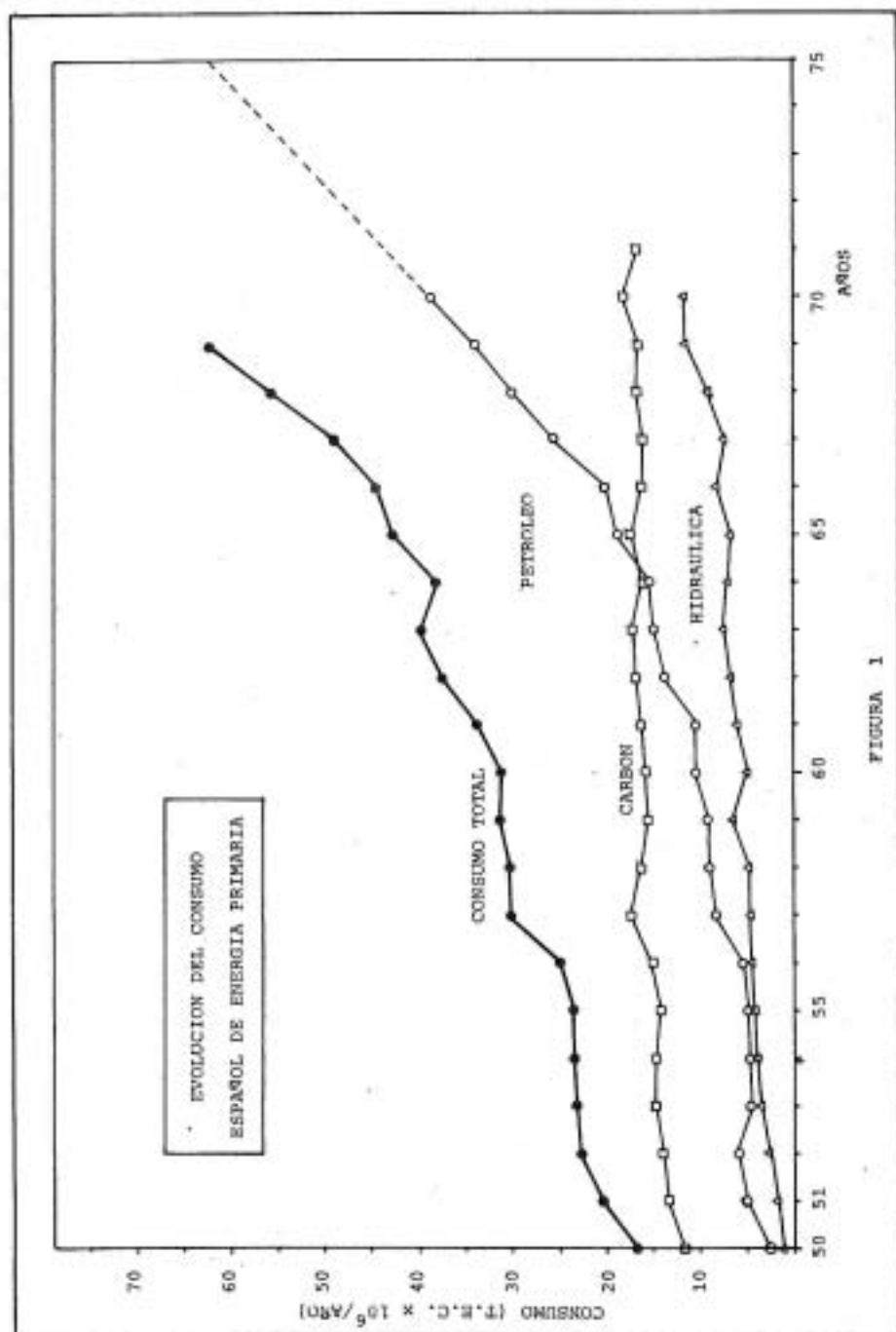
La evolución del consumo en España de combustibles líquidos derivados del petróleo, desde 1950, puede apreciarse en las figuras 1 y 2, en las que no se ha representado la aportación del gas natural y de la energía nuclear, pues prácticamente no afectan, por su pequeño valor, al balance total (7,8). En estas figuras se observa que el año 1965 marca en nuestro país el comienzo de la supremacía de los productos petrolíferos como manantial energético. Desde 1950 a 1969, la contribución de dichos combustibles a la producción interior de energía primaria pasó de un 9 a un 55%, a la vez que el consumo total de energía evolucionaba desde 17,5 millones a 60 millones de TEC (1 TEC = 0,642 TE en crudo). A la vista de estas cifras puede intuirse la enorme transformación industrial experimentada por España durante los últimos veinte años.

Admitiendo que el ritmo de crecimiento en el consumo interior de combustibles del petróleo hasta 1975 sea del mismo orden que en los tres últimos años, del 62 al 70% de la energía primaria producida dicho año en nuestro país (que se estima ascenderá a un total de 100 millones de TEC) procederá del petróleo, lo cual supondrá un consumo equivalente al poder energético de 40 a 45 millones de Tm. de crudo.

3.1.2. Como proveedor de materias básicas para la industria química.

Además de su empleo como energético, los derivados del petróleo cumplen un importante papel en una amplia gama de industrias, principalmente en la industria química. Los productos intermedios, base de la industria petrolquímica (olefinas y aromáticos), los disolventes, lubricantes y asfaltos son primordiales dentro de la industria química básica. Aunque solo se dedica a la industria petrolquímica un pequeño porcentaje del consumo total de crudo (de 3-4% en el mundo; 5% en España y hasta un 10 por 100 en los países que figuran en vanguardia tecnológicamente), casi la mitad de la producción de la industria química procede del petróleo.

Por ejemplo, en EE.UU., durante 1970, la producción de la industria petrolquímica supuso un 41%, en tonelaje, y un 64% en lo que a



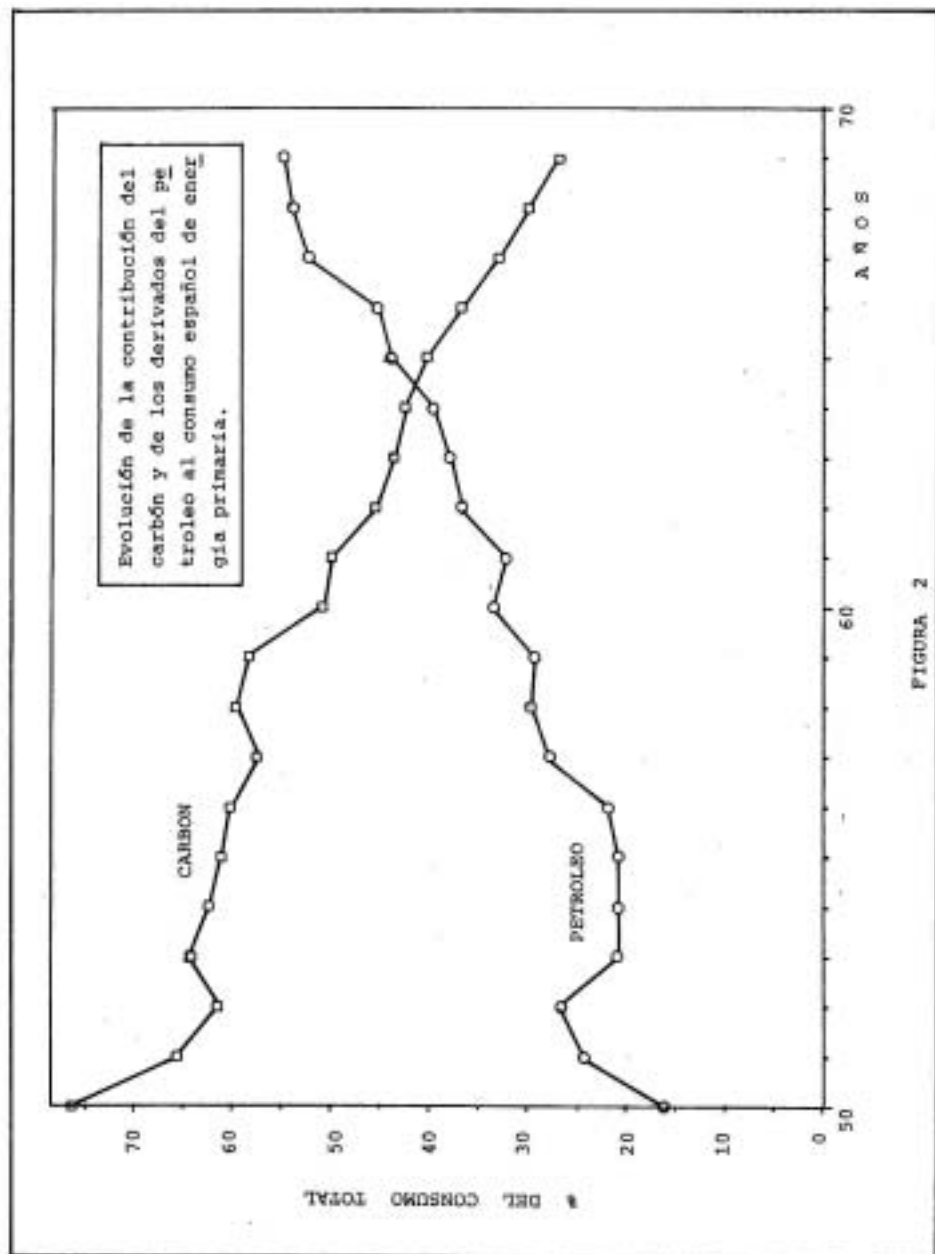


FIGURA 2

valor de los productos se refiere, del total de la producción de la industria química del país. En España, durante 1969, el valor del consumo aparente en el sector químico fue de 240.000 millones de pesetas, de los que más de 100.000 procedieron de los productos básicos que suministra el petróleo. (9)

Con sus productos, la industria petrolquímica está sustituyendo progresivamente a la carboquímica y a la Quimurgía, e incluso ha dado lugar a la fabricación de productos nuevos que no fueron previstos por estas ramas que podríamos llamar clásicas de la industria química.

La industria petrolquímica se caracteriza no solamente por la enorme variedad de sus productos que, hoy día, se calcula ascienden a más de 3.000, y por la amplitud de los campos de aplicación de tan gran repertorio de especies químicas, sino también por el bajo precio de estos productos, que es consecuencia del reducido costo de la materia prima, de la regularidad del suministro, del aprovechamiento completo de subproductos y de la gran escala a que se pueden planear las fabricaciones. Un ejemplo aclarará lo dicho (9). El NH_3 obtenido a partir de hidrógeno electrolítico costaría a unas 7 pts/kg; a partir de hidrógeno obtenido por gasificación del carbón a unas 4 pts/kg; y en las modernas instalaciones petrolquímicas solo resulta a 2,50 — 1,30 pts/kg., correspondiendo el límite más bajo a las grandes instalaciones que producen más de 1.000 Tm. de amoníaco día, en las que se aprovecha ampliamente la economía de escala. No es de extrañar pues el hecho de que, si en 1940 el 96% de amoníaco que se producía en EE.UU. partía de hidrógeno carboquímico, en 1960 el 95% de dicha producción partiese de hidrógeno petrolquímico.

La gran variedad de productos y la enorme extensión, unidas a la baratura e independencia de otras industrias, subraya el papel económico y social conquistado en poco tiempo por la petrolquímica.

3.2. Producción.

La disminución del consumo de carbón y el aumento del empleo de los derivados del petróleo, tanto como materia prima para la industria petrolquímica como para la generación de energía, ha tenido consecuencias políticas, económicas y sociales trascendentales. Conviene recordar que la prosperidad de ciertos países y regiones estuvo basada en el siglo XIX, en sus recursos de carbón y mineral de hierro. Como consecuencia, la irrupción del petróleo ha contribuido poderosamente a modificar el mapa económico mundial y particularmente el de Europa.

La industria petrolquímica ha asumido la pesada responsabilidad de afrontar este cambio, desarrollando la producción y las reservas de petróleo bruto, y también diversificándolas geográficamente.

TABLA 2

Evolución de la producción mundial de petróleo crudo a lo largo de la década de los sesenta (5) (millones de Tm/año).

ZONAS Y PAISES	AÑOS					
	1960		1970		1971	
América del Norte..	—	373	—	603,5	—	607,5
EE. UU.	347	—	534	—	532	—
Canadá	26	—	69,5	—	75,5	—
Venezuela	—	148	—	193	—	184
Oriente Medio	—	265	—	712	—	823,7
Irán	52	—	190	—	227	—
Arabia Saudita....	62	—	175,5	—	222	—
Kuwait	82	—	138	—	145	—
Irak	47,5	—	76	—	83	—
Otros países	21,5	—	132,5	—	146,7	—
Europa Oriental, URSS y China	—	148	—	353	—	422,2
África	—	9,5	—	258	—	262,5
Libia	—	—	159	—	132	—
Argelia	8,5	—	46	—	74	—
Nigeria	1,0	—	53	—	56,5	—
Otros países	—	108	—	214	—	167,8
TOTAL.....		1051,5		2333,5		2467,7

Entre 1960 y 1970 la producción mundial de crudo se multiplicó por 2,2, habiendo pasado de 1051,5 a 2.333,5 millones de Tm. (Tabla 2), a la vez que nuevas zonas se pusieron en explotación. Los hechos más notorios de este decenio fueron: la disminución del porcentaje de producción correspondiente al Continente Americano con respecto a la producción mundial, que, si se consideran a EE.UU., Canadá y Venezuela solamente (por ser los máximos productores), pasó del 49,5 al 34,1%; el crecimiento de la producción relativa de Oriente Medio, desde un 25,2 a un 30,5%; la aparición de nuevos países productores, principalmente Libia, y el aumento relativo de la producción del bloque africano desde el 0,9 al 11,1%. La producción relativa del bloque formado por Europa Oriental, URSS y China se mantuvo prácticamente constante, pues pasó de un 14,1 a un 15,1%.

Europa Occidental y Japón no son zonas productoras por lo que dependen y tendrán que seguir dependiendo, al menos durante el próxi-

mo decenio de los recursos petrolíferos del norte de Africa y Oriente Medio, donde se encuentran las mayores reservas, como se indicará más adelante. Quizá ésta sea la causa de los constantes conflictos que desde hace varios años se vienen produciendo en esa zona.

En España, solo está en producción el campo petrolífero de Ayo-luengo, en el que se inició la extracción en 1964, y donde, durante 1970 se produjeron 180.276 m³ de crudo. Como el resto de Europa, nuestro país es pues deficitario en petróleo y debe depender de los recursos petrolíferos de los países árabes.

3.3. Demanda y aprovisionamiento.

La demanda mundial de crudo (excluyendo los países de Europa Oriental, URSS y China) alcanzó los 1.930 millones de Tm. en 1970, lo cual representa un incremento del 103% en relación con la demanda correspondiente a 1960 que ascendió a 950 millones de Tm. El reparto de la demanda en las grandes zonas geográficas mundiales se ha modificado considerablemente como puede apreciarse en la tabla 3. Se observa el mismo fenómeno que ya se ha puesto de manifiesto al hablar de la producción, es decir, una disminución del porcentaje correspondiente al continente americano y un incremento del porcentaje correspondiente al resto del mundo. Por ejemplo, el porcentaje del total del consumo mundial (exceptuando Europa Oriental, URSS y China) correspondiente a la América del Norte bajó del 56,8% al 42,5%, mientras que el de Europa Occidental aumentó del 22,6% al 31,1%, y el de Extremo Oriente (principalmente Japón) pasó del 7,9% al 15,8%.

TABLA 3

Evolución del consumo de petróleo crudo en el mundo (exceptuando Europa Oriental y China) desde 1960 a 1970 (millones de Tm/año). (5)

Z O N A	A Ñ O	
	1960	1970
AMERICA DEL NORTE	540	820
AMERICA DEL SUR.....	70	110
EUROPA OCCIDENTAL.....	215	600
AFRICA	30	40
ORIENTE MEDIO	20	55
LEJANO ORIENTE Y OCEANIA..	75	305
TOTAL	950	1.930

La demanda de crudo en España en 1970 fue de alrededor de 33 millones de Tm. frente a los 600 millones correspondientes a toda la Europa Occidental.

En el mundo pueden considerarse cuatro grandes zonas de consumo, EE.UU., bloque soviético, Europa Occidental y Japón. Las dos primeras se pueden autoabastecer, aunque importan una pequeña parte de lo que consumen, en cambio las dos últimas como se ha indicado anteriormente, han de importar casi el total de sus necesidades de crudo.

Esta situación no se ha modificado entre 1960 y 1970, aunque las cantidades han aumentado considerablemente. Por otra parte, a lo largo del decenio, las fuentes de aprovisionamiento han aumentado en número, y la importancia relativa de cada una se ha incrementado.

En lo que concierne a los EE.UU., que es el país mayor consumidor, se han exportado cantidades muy reducidas de crudo, tanto en 1960 como en 1970, habiendo sido Venezuela y las Antillas Holandesas sus mayores proveedores con 67 millones de Tm. en 1960 y 75 millones en 1970, (es decir, a un nivel prácticamente estabilizado). En cambio las importaciones de otras procedencias, principalmente de Canadá, México y de Africa se han incrementado a lo largo de la década de los sesenta. Esta evolución se ha debido fundamentalmente al aumento de la producción en Canadá, a la reglamentación americana en materia de importación de crudos y a las necesidades de ciertos mercados de la costa oriental de EE.UU., de crudos y fuel-oil de bajo contenido en azufre.

En lo que a Europa Oriental y China respecta, no se han efectuado cambios de importancia a lo largo del decenio, si se exceptúan las exportaciones de URSS y Rumanía hacia Europa Occidental, que pasaron de 17 millones de Tm. en 1960 a 45 millones de Tm. en 1970.

En Europa Occidental los cambios han sido considerables. En 1960 se importaron 198 millones de Tm. frente a 634 millones en 1970. El origen geográfico de estas importaciones fue muy variado. En 1960, el principal proveedor fue Oriente Medio (con un total de 135 millones de Tm.), al que siguieron los países del Caribe (con 30 millones de Tm) y Africa (con 11 millones de Tm.). En 1970, Oriente Medio siguió siendo el proveedor más importante, con 320 millones de Tm., pero Africa (principalmente Libia) pasó a segundo lugar, con 242 millones de Tm., quedando estabilizados entre 20 y 30 millones de Tm. los suministros de los países del Caribe.

Extremo Oriente, donde el Japón es el principal consumidor, importó en 1960 la mayor parte de sus necesidades de Oriente Medio (51 millones de Tm.) y de EE.UU. (5 millones de Tm.). En cambio durante 1970, el crudo importado de Oriente Medio alcanzó la cifra de 261 millones de Tm.

El constante aumento del tonelaje de crudo transportado por vía marítima, que, como se ha dicho anteriormente, es la más barata para grandes distancias, ha hecho evolucionar notablemente el tamaño de los

petroleros en los últimos años. En 1950 los petroleros de 30.000 TPM eran el orgullo de las flotas mercantes del mundo. Hoy día son corrientes los navíos de 250.000 TPM que miden 350 m. de eslora por 50 de manga, que son inmensos depósitos flotantes. Este aumento de tamaño se debe a que los cálculos de rentabilidad demuestran que cuando mayor es el buque utilizado, tanto más disminuye el precio del transporte por Tm. El cierre del canal de Suez en 1967, ha favorecido la fabricación de este tipo de grandes navíos.

La flota petrolera mundial se ha duplicado de 1960 a 1970, pasando de 63 a 131 millones de TPM. En la tabla 4 se comparan los tonelajes de los petroleros entre 1960 y 1970. En 1960 el 66% del tonelaje de la flota petrolera estaba constituido por barcos de menos de 30.000 TPM, no habiendo unidades de más de 150.000 TPM. En cambio en 1970, los barcos de más de 30.000 TPM solo constituyen el 18% del total, mientras que los de más de 150.000 TPM han llegado a la cifra del 22%.

TABLA 4

Evolución de la composición de la flota petrolera mundial entre 1960 y 1970. (5)

TONELAJE DE LOS BARCOS (TPM)	Tanto por cien del ton. mundial	
	1970	1960
Menos de 30.000	66	22'1
De 30.000 a 59.900.....	30'8	34'6
De 60.000 a 149.999	3'2	25'3
Más de 150.000	—	18'0

3.4. Reservas.

Las reservas de crudo a lo largo de la década de los 60 se han multiplicado por 1,83, y durante la década de los setenta se espera que se multipliquen por 1,46 (tabla 5). Su distribución geográfica se ha modificado considerablemente durante el primero de los dos decenios considerados (tabla 6). En efecto, la contribución relativa de EE.UU. Canadá y Venezuela a las reservas totales del mundo ha disminuído. En cambio la de Oriente Medio y la del bloque constituido por la URSS, Europa Oriental y China se ha mantenido prácticamente invariable, habiendo aumentado considerablemente la correspondiente a Africa.

Se habla de porcentajes, porque en valores absolutos se ha duplicado la cifra mundial representativa de las reservas, pasando de 39.600 millones de Tm. a 72.800 millones de Tm.

TABLA 5

Variación de las reservas mundiales de crudo desde 1960 a 1980. (5,6)

Año	Reservas mundiales (millones de Tm.)
1960.....	39.600
1970....	72.800
1980 (previsto).....	160.200

TABLA 6

Variación de las reservas de crudo a lo largo de la década de los sesenta (5) (millones de Tm).

ZONA	1960	1970
América del Norte.....	5.100	6.400
América del Sur.....	3.300	4.000
Europa Occidental.....	400	200
Africa.....	1.000	7.400
Oriente Medio.	24.500	45.000
Europa Oriental, URSS, China.....	3.800	6.000
Lejano Oriente y Oceanía.....	1.500	3.800
TOTAL.....	39.600	72.800

4. REFINO

4.1. Generalidades.

El refino tiene por objeto obtener, a partir del petróleo crudo, el mayor porcentaje posible de aquellos productos que mayor interés tienen desde el punto de vista económico. La distribución de productos terminados en una refinería dependerá pues de la estructura de consumo en el mercado.

Hasta finales del siglo XIX, el refino de petróleo consistía en una simple destilación encaminada a obtener keroseno, aceites lubricantes y parafinas. A principios del siglo actual, comenzó a orientarse hacia la obtención de gasolina, debido a la creciente demanda de esta fracción utilizada como carburante en los motores de explosión. Actualmente, el mer-

cado se interesa por una gama de productos mucho más amplia, por lo que el refino se suele orientar hacia la obtención de las siguientes fracciones:

— *Gases del petróleo.*—Que comprende:

- a) El "gas de refinería", rico en metano, pero conteniendo además etano y propano). Se suele utilizar como combustible en la misma refinería.
- b) GLP o gases licuados del petróleo (propano y butano). Se emplean como combustible doméstico e industrial.
- c) Etileno, propileno y butadieno. Se utilizan como materia prima de la industria petrolquímica.

— *Gasolinas.*—Se usan como carburantes de los motores de explosión.

— *Keroseno.*—Se emplea como carburante en motores de maquinaria agrícola y para usos domésticos.

— *Combustibles para reactores.*

— *Naftas.*—Se emplea como combustible y como materia prima de la industria petrolquímica.

— *Benceno, tolueno y xilenos.*—Se usan como disolventes y como materia prima de la industria petrolquímica.

— *Gas-oil.*—Se emplea como combustible y como carburante para motores Diesel.

— *Fuel-oil.*—Se utiliza como combustible industrial. El fuel-oil pesado es el combustible normalmente alimentado a las centrales térmicas.

— *Aceites lubricantes.*—Neutros, pesados y para cilindros de máquinas de vapor.

— *Parafinas.*—Se utilizan para fabricar papel parafinado, material aislante, lacre, pomadas, etc.

— *Alquitrán y asfalto.*—Su aplicación principal es la construcción de carreteras, tejados, recubrimientos protectores, etc.

— *Coque de petróleo.*—Se emplea como combustible industrial.

Todos estos productos pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- 1.—"COMBUSTIBLES", que representan por término medio del 85 al 90% de los productos terminados.
- 2.—"PRODUCTOS ESPECIALES": aceites lubricantes, parafinas y asfaltos.
- 3.—"PRODUCTOS QUÍMICOS", que comprenden las materias primas utilizadas en la industria petrolquímica.

4.2. La Refinería.

La transformación del crudo en tan amplia gama de productos se realiza en las Refinerías, que son instalaciones complejas (en unos casos más que en otros, según la estructura de refino, consecuencia de las ne-

cesidades del mercado) en las que generalmente se pretende cubrir los objetivos siguientes:

a) Separar el crudo en distintas fracciones de diferente volatilidad. Operación que se conoce con el nombre de fraccionamiento (es una destilación fraccionada o rectificación).

b) Modificar la estructura molecular de algunos de los hidrocarburos presentes en la fracción de gasolinas, a fin de aumentar la calidad del carburante. Esta operación se conoce con el nombre de "Reformado catalítico", y las transformaciones más importantes que en ella tienen lugar son: Una deshidrogenación de naftenos (aromatización), una deshidroisomerización de naftenos y una isomerización de parafinas (de lineales a ramificadas).

c) Modificar, por reacción química, la proporción de las distintas fracciones obtenidas por rectificación del crudo, a fin de aumentar el porcentaje de aquellos productos de mayor interés. Esta transformación puede consistir en una rotura de cadena de los hidrocarburos de las fracciones más pesadas con vistas a obtener etileno, propileno, butano y/o incrementar la fracción de gasolinas, operación que se conoce con el nombre de "cracking", que puede ser térmico, catalítico o hidrocracking. También puede ser conveniente, si se desea orientar el refinado hacia la obtención del mayor porcentaje posible de gasolinas, aumentar esta fracción a costa de las fracciones de tres y cuatro átomos de carbono no saturadas, por "polimerización catalítica" o "alquilación".

d) Eliminar compuestos indeseables en las diferentes fracciones con objeto de mejorar su calidad. Tal es el caso de la desulfuración de gasolinas, gas-oil o fuel-oil por hidrogenación catalítica, o del desparafinado y desasfaltado de aceites lubricantes, etc...

Un conjunto que se componga de una unidad de destilación (normalmente atmosférica) y de una unidad de reformado catalítico (además de las correspondientes unidades de hidrodesulfuración catalítica), representa el mínimo de instalaciones necesarias y suficientes para que una refinería pueda fabricar una gama bastante amplia de combustibles de calidad adecuada. Tal es el caso de la Refinería de ESSO Petróleos Españoles de Castellón de la Plana, cuyo esquema se representa en la figura 3.

Si se quiere aumentar el porcentaje de gasolinas con unas instalaciones tan relativamente sencillas, es necesario utilizar crudos seleccionados e incorporar además una unidad de cracking.

Si se pretende fabricar también aceites lubricantes, es necesario, además de abastecerse de crudos de base parafínica, instalar una unidad de "destilación a vacío", así como montar unidades especiales de acabado (desasfaltado con propano, desparafinado con metil-etil-cetona, unidad de furfural o fenol, etc.)

Un programa de fabricación que considere el suministro de productos para la petrolquímica en grandes cantidades, necesita unidades

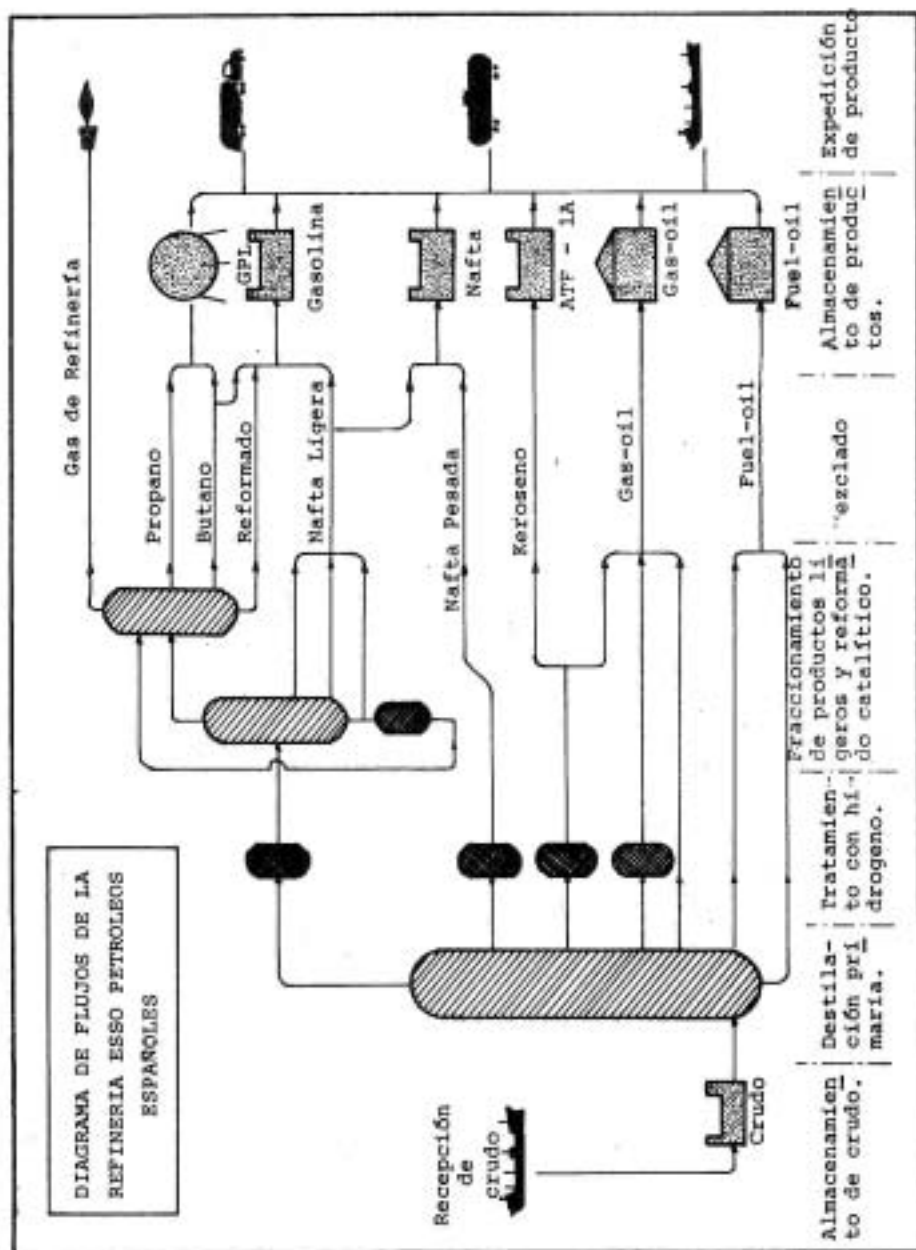


FIGURA 3

de craking, de polimerización, isomerización y alquilación, además de las enumeradas anteriormente.

En resumen, el equipo de una refinería puede ser más o menos abundante y variado, según los programas de fabricación que pretendan acometerse.

4.3. Capacidad de refino.

El 1 de enero de 1970 el número de refinerías existentes en todo el mundo era de 856, con una capacidad de refino anual de 2.615 millones de Tm.

El desarrollo de la industria de refino ha seguido una trayectoria análoga a la del consumo de crudos, (tabla 7). La expansión de la capacidad de refino ha sido más lenta en el continente americano que en el resto del mundo. Mientras que en 1960 Norteamérica disponía del 45,8% de la capacidad mundial, en 1970 había descendido al 28,3%. En el resto del mundo Europa Occidental y Japón registraron los índices de aumento más altos durante la década de los sesenta. En efecto, Europa Occidental pasó del 15,8% al 29,9%, y Extremo Oriente del 5,4 al 12 por 100. Este crecimiento de la capacidad de refino se ha debido al aumento de los mercados europeos y japoneses, que ha permitido la instalación de numerosas refinerías y la puesta a punto de petroleros cada vez de mayor tamaño, lo que ha provocado una disminución considerable del precio de la tonelada de petróleo transportada. En 1970 Europa Occidental ocupó el primer lugar en lo que a capacidad de refino se refiere, con un total de 720,5 millones de Tm/año.

TABLA 7

Evolución de la capacidad de refino en el mundo, desde 1960 a 1970 (5,10) (millones de toneladas/año).

ZONA	1960	1970
América del Norte.....	535	704
América del Sur.....	150	229'5
Europa Occidental	185	720'5
Europa Oriental, URSS y China...	147	332'5
Africa.....	17'5	46
Oriente Medio.....	71	124
Lejano Oriente y Oceanía.....	63	299
TOTAL.....	1.168'2	2.485'5

En España hay actualmente nueve refineries en funcionamiento, cuya distribución se indica en la figura 4. La evolución de la capacidad de refino puede apreciarse en la tabla 8, donde se observa que hasta 1963 no disponíamos más que de dos refineries (Cepsa en Tenerife y Repesa en Cartagena). A partir de 1964, en sólo ocho años, se han puesto en marcha siete refineries más, aumentando la capacidad de refino de 10,5 a 45 millones de Tm. de crudo.

En la figura 5 se representa la evolución de la producción de las refineries nacionales (da cifras por debajo de la capacidad, en varios casos). Puede observarse que la tendencia es claramente ascendente. Es posible que la disminución que se observa en la producción de la Refinería de Tenerife sea debida a la reciente puesta en marcha de varias refineries en la costa occidental de Africa. En dicha figura puede apreciarse que en 1970 se obtuvieron 32,73 millones de Tm. de productos terminados.

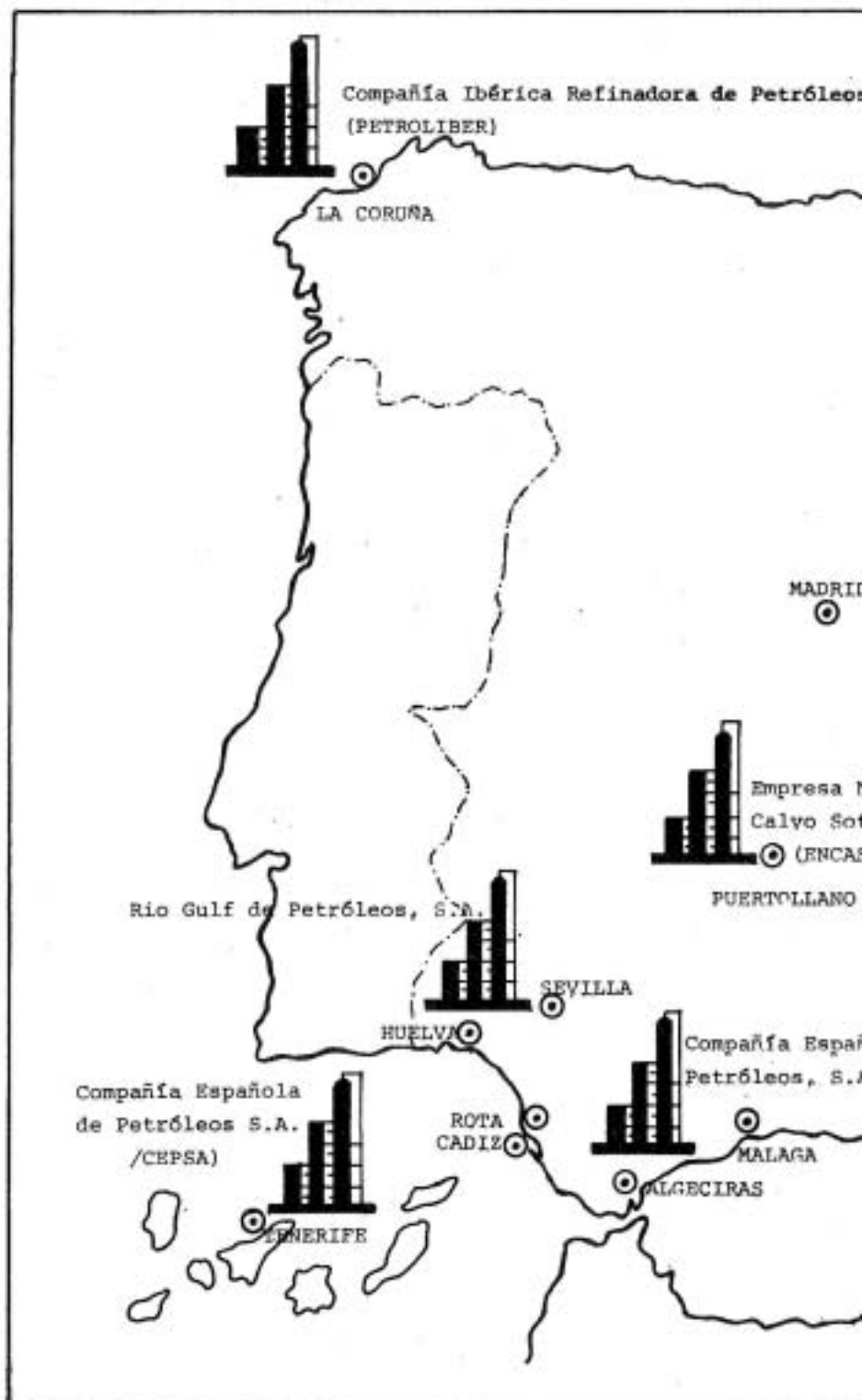
TABLA 8

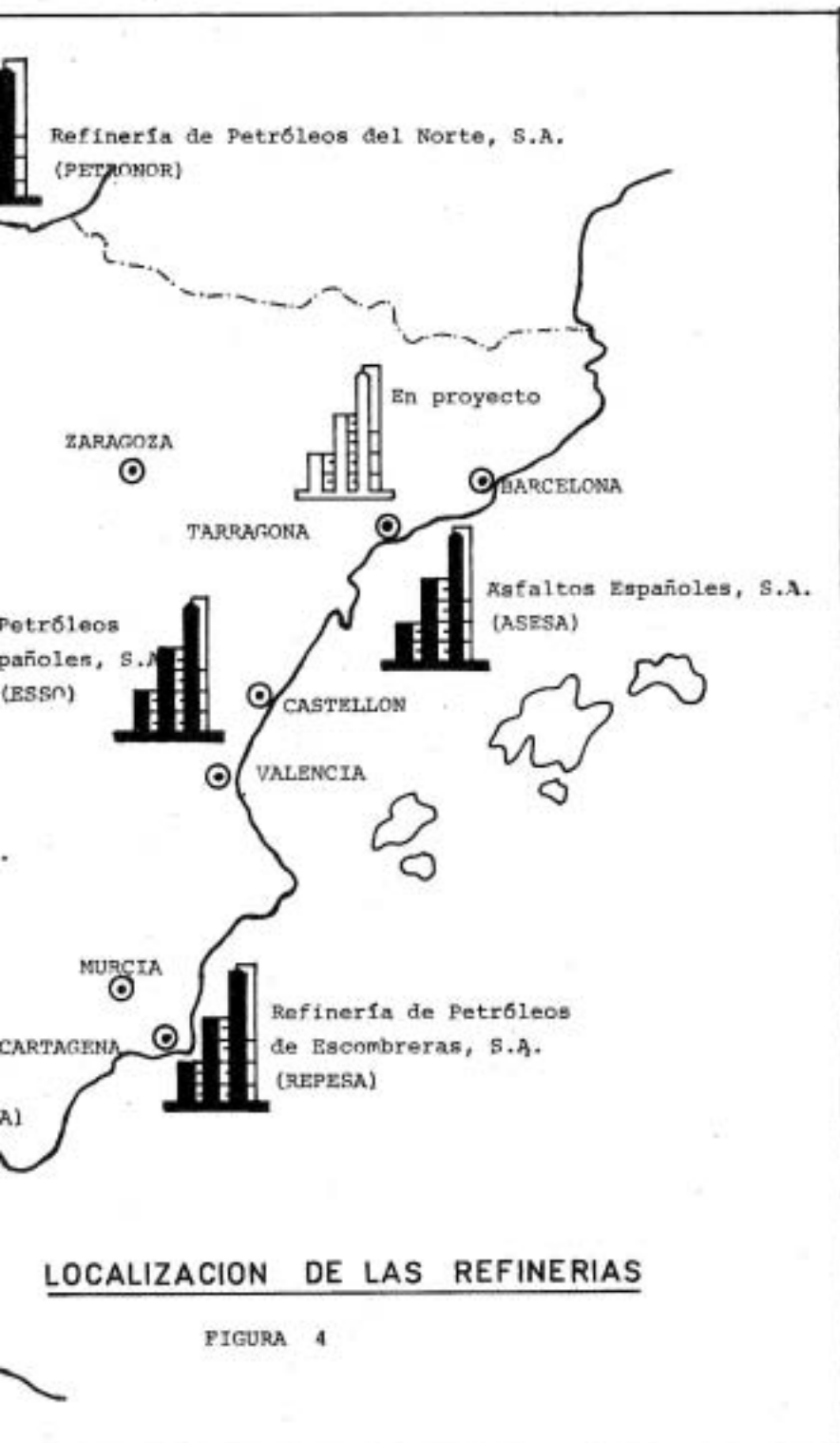
Evolución de la capacidad de producción de las Refinerías en España
(Millones de toneladas)

AÑOS	CEPSA (Tenerife)	REPESA (Carta- gena)	PETRO- LIBER (La Coruña)	S. SOTELA (Puerto- Real)	MO GOLF (Murcia)	ESSO (Castellón)	ASESA (Tortosa)	CEPSA (Algeiras)	PETROBRON (Bilbao) 1	TOTAL
1930	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—	0,25
1939	0,55	—	—	—	—	—	—	—	—	0,55
1949	0,85	—	—	—	—	—	—	—	—	0,85
1950	0,85	0,30	—	—	—	—	—	—	—	1,15
1951	0,85	0,40	—	—	—	—	—	—	—	1,25
1952	0,85	0,80	—	—	—	—	—	—	—	1,65
1953	0,85	1,50	—	—	—	—	—	—	—	2,35
1954	1,30	1,80	—	—	—	—	—	—	—	3,10
1955	1,30	2,00	—	—	—	—	—	—	—	3,30
1956	3,20	2,10	—	—	—	—	—	—	—	5,30
1957	3,20	3,30	—	—	—	—	—	—	—	6,50
1958	3,20	4,00	—	—	—	—	—	—	—	7,20
1959	3,20	4,00	—	—	—	—	—	—	—	7,20
1960	3,20	4,00	—	—	—	—	—	—	—	7,20
1961	3,20	4,75	—	—	—	—	—	—	—	7,95
1962	5,50	5,00	—	—	—	—	—	—	—	10,50
1963	5,50	5,00	—	—	—	—	—	—	—	10,50
1964	6,00	5,00	2,00	—	—	—	—	—	—	13,00
1965	6,50	5,00	2,00	2,00	—	—	—	—	—	15,50
1966	7,00	6,00	2,20	2,00	—	—	—	—	—	17,20
1967	7,50	6,50	2,20	2,00	2,00	3,00	—	—	—	23,20
1968	7,50	8,00	2,20	2,00	2,00	3,00	1,10	—	—	25,80
1969	8,00	10,00	4,40	2,00	4,00	4,00	1,10	4,00	—	37,50 ²
1970	8,00	10,50	4,40	5,00	4,00	4,00	1,10	4,00	5,00	45,50 ²

(1) Refinería en construcción.

(2) Capacidad de producción aprobada, no instalada.





LOCALIZACION DE LAS REFINERIAS

FIGURA 4

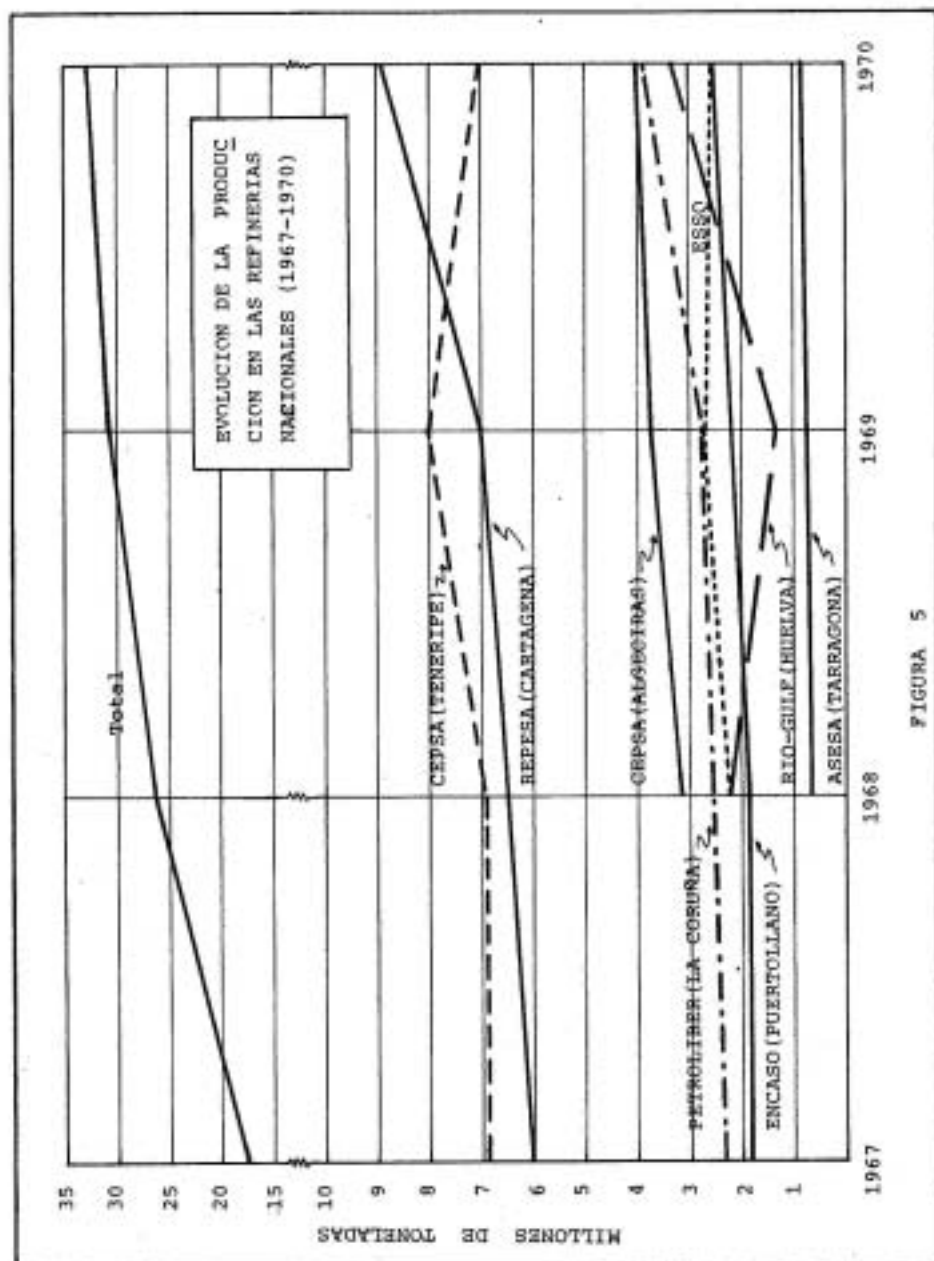


FIGURA 5

4.4. Estructuras de refino.

Ya se ha indicado que la orientación que se da al refino de crudo viene impuesta por las necesidades del mercado.

La estructura de consumo de productos terminados es completamente diferente en EE.UU. y en Europa Occidental.

Para la calefacción industrial, en EE. UU. se utiliza preferentemente el gas natural (del que existen grandes reservas), por lo que solo un 15% del crudo se transformó en fuel-oil en 1970. En cambio en Alemania, Francia y España (tomados como representativos de Europa Occidental), los porcentajes de crudo transformados en fuel-oil el mismo año fueron de 24,7%, 30,7% y alrededor del 50 por 100, respectivamente.

En EE.UU. durante 1970, el 48% del crudo se transformó en gasolina, mientras que en Alemania, Francia y España solo se convirtió en gasolina el 13,1%, el 14,3% y 10,9%, respectivamente.

Del petróleo crudo no puede obtenerse más allá de un 18-23% de gasolinas, por simple rectificación. Esto quiere decir que no se puede concebir una refinería en EE.UU. sin que tenga una serie de unidades, tales como craking catalítico, alquilación, polimerización, en las que se obtengan gasolinas a partir de fracciones pesadas o más ligeras. La evolución que se prevé en el consumo de productos terminados en dicho país apoya dicha afirmación. (Ver tabla 9).

En cambio en España se comprende que no exista todavía ni una sola de las unidades mencionadas (solo hay un craking térmico y un hidrocraking en la Refinería de CEPSA en Algeciras). La creciente necesidad de naftas y otros productos ligeros quizá obligue, en el futuro a montar algunas unidades más de craking.

TABLA 9

Evolución de la estructura de refino en EE.UU.

Año	% DE CRUDO REFINADO				
	Gasolinas	Combustibles para reactores	Destilados medios	Fuel-oil pesado	Otros productos
1965	45	6	23	8	18
1970	48	8	21	6	17
1975	50	10	18	5	17
1980	52	13	15	3	17



En la actualidad, puede decirse que la industria de refino, que siempre se ha caracterizado por su dinamismo, se encuentra en un momento crucial. Se prevé una evolución de las técnicas de refino a corto plazo, motivada fundamentalmente por los siguientes factores:

- 1.º La creciente preocupación a escala mundial, por la contaminación del medio ambiente. Esto ha motivado la tendencia a la eliminación del tetraetilplomo de las gasolinas, así como a la fabricación de combustibles pesados de bajo contenido en azufre.
- 2.º Si se elimina el tetraetilplomo de las gasolinas, habrá que aumentar el índice de octano a base de enriquecerlas en componentes de naturaleza aromática, de cadena ramificada e insaturados. Esto traera consigo una importante modificación de las instalaciones de refino.
- 3.º La conveniencia, por motivos de economía de escala, de construir refinerías cada vez mayores.
- 4.º Evolución del tipo de refinería, siendo cada vez más frecuentes las diseñadas para proporcionar el mayor porcentaje posible de productos básicos para la industria petrolquímica.

BIBLIOGRAFIA

- 1.—KENT, J. A.; "Riegel's Industrial Chemistry". Reinhold Pub. Corp., Nueva York 1962).
- 2.—KIRK-OTHMER; "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 14; John Wiley, New York (1967).
- 3.—KARRER, P.; "Tratado de Química Orgánica", 3.^a Edición Española, (Traducción de la 11.^a Ed. alemana, 1950).
- 4.—"Seminario sobre el Petróleo", ESSO Petróleos Españoles, Castellón, 27 de mayo de 1972.
- 5.—CHEMINADE, S. A.; "Petrole Progres", núm. 90., pág. 2.1.^o, Trimestre de 1972.
- 6.—"International Petroleum Encyclopedia", The Petroleum Pub. Co., EE.UU (1970).
- 7.—MIRO, J., "Ingeniería Química", 3 (12), 9 (1971).
- 8.—"Statistics of Energy", O.E.C.D., Paris (1971).
- 9.—VIAN, A.; "Apuntes de Química Industrial", Universidad de Madrid (1970).
- 10.—"International Petroleum Encyclopedia", The Petroleum Pub. Co., EE.UU. (1971).

NOTA DEL AUTOR: Todas las cifras que en este trabajo se pronostican para la década de los setenta, están sujetas a revisión, como consecuencia de la reciente crisis del petróleo y de las medidas adoptadas últimamente por algunos países productores. Asimismo, habría que actualizar las cifras que se refieren a precios de productos derivados del petróleo.

Mayo, 1974.