

CRISIS ENERGÉTICA Y MATERIAS PRIMAS EN LA INDUSTRIA QUÍMICA

POR  
FRANCISCO RUIZ BEVIÁ

UNIVERSIDAD DE ALICANTE  
MCMLXXXI

Lección pronunciada por el Prof. Dr. Don Francisco Ruiz Beviá, Catedrático de Química técnica, en el acto de apertura solemne de curso académico 1981-82 en la Universidad de Alicante.

Excelentísimos e ilustrísimos señores.  
Claustro de esta Universidad.  
Señoras y señores:

Es tradición en la Universidad española que la lección inaugural sea pronunciada, en la apertura solemne de cada curso académico, por un profesor perteneciente a la Facultad que le corresponda de acuerdo con un turno rotatorio basado en criterios de antigüedad. En esta ocasión, la segunda apertura solemne de la Universidad de Alicante, le ha correspondido este honor a la Facultad de Ciencias.

Sirva el anterior preámbulo para justificar mi comparecencia hoy aquí, y para mostrar que no es debida a razones de méritos, sino a costumbres y tradiciones académicas.

Dos condiciones tenía que cumplir, en mi opinión, el tema de este discurso de apertura, dos condiciones en cierto modo difíciles de hacer compatibles. Por un lado debía estar inscrito en el campo limitado de la disciplina docente de mi especialidad, la Química Técnica, y en conexión con alguna de las líneas de investigación iniciadas en mi Departamento. Y por otro lado era conveniente que fuese una cuestión de interés general con el fin de poder recabar la atención de un auditorio de tan profunda, amplia y variada formación. La “crisis de la energía” con sus repercusiones que nos afectan a todos, se puede considerar un tema genérico que cumple la segunda condición, y a su vez, algunos aspectos concretos del mismo cumplen también la primera; éste es el caso de la problemática planteada en el suministro de materias primas de la Industria Química como consecuencia de la carestía y escasez del petróleo.

Una serie de acontecimientos ocurridos en el mundo a comienzos de la década de los años 70, entre los que se puede incluir la inflación imperante en los estados occidentales, la guerra árabe-israelí de 1973 y el reforzamiento de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), produjeron el inicio del sucesivo y progresivo encarecimiento del petróleo, extendiéndose un sentimiento de temor a una futura escasez de las fuentes de energía no renovables.

Se creó así una situación crítica en los países consumidores de petróleo, que contrasta con la situación anterior durante los últimos cien años en los que la energía era a la vez abundante y con un precio real, en moneda constante, con tendencia a la baja. Esta situación crítica se agravó en 1979 con las condiciones políticas inestables en Irán.

La “crisis de la energía” tiene numerosas implicaciones y puede ser estudiada desde muy diversos puntos de vista, políticos, económicos, científicos y tecnológicos, etc..., de modo que la extensión y profundidad del tema permitiría desarrollar un gran número de trabajos que aborasen puntos muy concretos y variados del mismo. Es por consiguiente necesario definir el contenido y los límites del presente discurso de apertura. En primer lugar, se hace un planteamiento general del problema energético: se estudia el

crecimiento acelerado de la demanda energética, analizando el grado en que participa cada una de las diversas fuentes de energía en la satisfacción de esa demanda. Y en segundo lugar, desde el conocimiento y la valoración de los recursos energéticos de combustibles fósiles, se abordan las posibles soluciones y alternativas del problema energético, dedicando una atención especial a las alternativas que tienen por objetivo la sustitución del petróleo en su doble papel de proveedor de fluidos combustibles y de materia prima de partida para la fabricación de la variada gama de productos químicos que la sociedad actual demanda.

## 1.- EL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

El consumo mundial de energía, que en año 1925 se estimó en unos 46'64 EJ, ascendía ya en 1975 a 254'7 EJ, es decir, en este período de tiempo la demanda energética se multiplicó por un factor de 5'46. (Tabla 1).

El aumento continuado de la demanda energética se desprende también del valor medio de la tasa de crecimiento desde 1900 a 1975, que fue de 2'6 por ciento/año. Ahora bien, esa tasa anual de crecimiento calculada para períodos más cortos muestra que, a su vez, este coeficiente también ha ido evolucionando hacia valores más altos. En efecto, en el intervalo comprendido entre 1925-1950 adquirió un valor medio de 2'2%/año, en la década de 1950-1960 de 4'9/año y en la década del gran desarrollo industrial, 1960-1970, se alcanzó el valor promedio más alto, 5'5%/año. La evolución de una variable económica en función del tiempo, con un coeficiente de incremento anual constante se suele denominar crecimiento exponencial. Pero en el caso que estamos considerando, la tasa anual no se mantiene constante, sino que justamente ha ido aumentando, sobre todo desde 1950 a 1970, lo que supone una evolución acelerada de la demanda energética mundial, y por consiguiente, tienen fundamento la preocupación y las dudas que se formulan acerca de las posibilidades de que este proceso pueda continuar durante mucho tiempo. Un índice de esta preocupación viene dado por los numerosos estudios que recientemente se han realizado y continúan realizándose sobre proyecciones de la futura demanda energética, estimaciones de los recursos y reservas de combustibles fósiles, búsqueda de fuentes alternativas de energía... Y dentro de este mismo contexto de inquietud y previsión ante el futuro energético, se puede considerar la creación en 1974, y en el marco de la OCDE, de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

El consumo energético mundial va estrechamente ligado al grado de desarrollo industrial y al incremento de la población. Desde 1925 a 1975 la población mundial pasó de 1890 millones de habitantes a 3967 millones multiplicándose por un factor de 2'1, inferior al factor 5'46 que se había citado anteriormente para el aumento del consumo energético durante el mismo periodo de tiempo. El valor medio del consumo energético por habitante en el año 1975 alcanzó los 64'1 GJ. En consecuencia, el consumo de energía por habitante ha tenido tasas de crecimiento inferiores a las del consumo total de

energía, pero manteniéndose la década de los años 60 como la de mayor incremento: en 1960, 43'7 GJ per capita y en 1970, 62'6 GJ per capita con un coeficiente medio anual de crecimiento de 3'7%, frente a los valores 1'1% entre 1925 y 1950, y 3'1% de 1950 a 1960. Sin embargo, es conveniente señalar que esta evolución acelerada del consumo energético se vio frenada por la subida brusca del petróleo en 1973. En efecto, entre 1970 y 1975 las tasas medias anuales de crecimiento fueron de 2'5% para el consumo global y solamente 0'3% para el correspondiente a per capita.

Los datos anteriores son valores medios referidos al conjunto de la humanidad, y es evidente que existen grandes desigualdades entre los diferentes países. Se puede estimar que el 85% de la producción de la energía mundial es consumida por sólo una minoría de habitantes de la Tierra: aquellos que residen en los países más industrializados. En 1972 el consumo de energía por habitante en EE.UU. fue de 353'6 GJ, aproximadamente el resultado de multiplicar por seis el valor medio mundial. En algunos estudios económicos es frecuente expresar la demanda y la producción energéticas mediante las cantidades de combustibles fósiles con un contenido calorífico equivalente. Con este fin se definen las unidades "tonelada equivalente de carbón" (tec) y "tonelada equivalente de petróleo" (tep) que se obtienen asignando, convencionalmente, unos valores medios de la potencia calorífica a la hulla y al petróleo crudo. Utilizando estas unidades, el ciudadano estadounidense consumió en 1972 la energía correspondiente a 11'8 tec, o bien 8'44 tep, cantidades muy próximas a las consumidas por un habitante en Canadá.

Dentro de los países industrializados también hay grandes diferencias en el consumo energético per capita, los valores correspondientes a Francia, (4'7 tec), Alemania Federal, (5'8 tec), e incluso Suecia, (7'5 tec), son relativamente bajos frente a los excepcionales de EE.UU. y Canadá (11'8 tec).

El alto valor de consumo energético de EE.UU. puede explicarse, en parte, en función de la gran extensión del país, con un modelo de población muy disperso y gran número de casas unifamiliares que tienen unas necesidades energéticas muy altas en comparación con las viviendas multifamiliares o bloques de apartamentos, comunes en la mayoría de los otros países. Por otra parte, las diferencias de precio de la energía es otro factor a considerar. La baja eficiencia de los automóviles de EE.UU. comparados con los de Europa es el resultado de ser los impuestos sobre la gasolina más bajos en Norteamérica.

En el caso de Canadá, además de la extensión del país, es determinante la existencia de gran número de industrias de consumo intensivo de energía, v.g.: producción de pasta de papel, grandes industrias metalúrgicas y químicas.

A efectos comparativos, puede ser de interés ofrecer algunas cifras relativas al consumo energético en España (Tabla 2). En 1972, la demanda de energía primaria ascendió a 76'34 millones de tec, que convertida a consumo

per capita significa 2'2 tec, valor prácticamente igual a la media mundial (2'12 tec).

Aunque, como se ha dicho antes, España tiene un consumo energético que coincide con la media mundial, no ocurre lo mismo con respecto a las tasas de crecimiento que, lógicamente, por haber partido nuestro país de un bajo nivel de industrialización en los años 50, son relativamente altas en el período 1960-1970. En efecto, el crecimiento medio anual de consumo energético total para el citado período fue 7'64%, superior en más de dos puntos a la media mundial. La demanda per capita, con una tasa de 6'44% años, para el mismo decenio, también supera a la mundial en más de tres puntos y se queda a un punto por debajo de la que tuvo el Japón, país paradigma del desarrollo industrial.

TABLA 1

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL

ANO	Consumo total de energía, EJ	% de aumento anual	Número de habitantes. Millones.	% de aumento anual	Consumo de energía per capita, GJ.	% de aumento anual.
1925	46'64		1890		24'7	
1950	80'97	2'2	2504	1'1	32'3	1'1
1960	130'7	4'9	2990	1'8	43'7	3'1
1970	225'9	5'5	3609	2'0	62'6	3'7
1975	257'7	2'5	3967	2'0	64'1	0'3

Fuente: Ref. (1)

TABLA 2

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN ESPAÑA

ANO	Consumo total de energía Mtec.	% de aumento anual.	Número de habitantes. Millones.	% de aumento anual	Consumo de energía per cápita, tec.	% de aumento anual.
1960	30'66		30'4		1'01	
1970	64'06	7'64	34'0	1'12	1'88	6'44
1971	68'81	7'41	34'3	0'88	2'01	6'47
1972	76'34	10'94	34'7	1'16	2'20	9'66
1973	83'98	10'00	35'0	0'86	2'40	9'06
1974	87'68	4'40	35'4	1'14	2'48	3'22
1975	88'33	0'74	35'8	1'13	2'47	-0'38
1976	93'91	6'31	36'2	1'12	2'59	3'14

1977	90'10	5'52	36'7	1'38	2'70	4'09
------	-------	------	------	------	------	------

FUENTE: Elaborada con datos de la ref. (2)

1 tec= 29'98 GJ.

## 2:- ESTRUCTURA DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Antes de abordar el tema de la estructura de la demanda energética será conveniente recordar la terminología internacional utilizada para denominar la energía según el momento de producción o utilización. Se suele considerar que el carbón, el gas natural, el petróleo, la energía nuclear y la energía hidráulica son energías primarias. La energía primaria debe ser previamente transformada (por ejemplo el carbón en una central termoeléctrica), y posteriormente transportada y distribuida para poderse utilizar como energía secundaria o final (en nuestro ejemplo, electricidad) en dispositivos de demanda (motores eléctricos, calefactores eléctricos) que permitan obtener una energía útil (energía mecánica, calefacción). En todas las etapas de este proceso de transformación de la energía primaria a secundaria y a energía útil se producen las pérdidas consiguientes. La energía hidroeléctrica se considera energía primaria y, por el contrario la energía eléctrica obtenida por combustión de un derivado del petróleo es energía secundaria, que si se quiere contabilizar como primaria en el balance de la demanda energética se incluirá en la partida correspondiente al petróleo.

El análisis de la demanda se puede establecer, pues en tres niveles, los correspondientes a los tres momentos de utilización de la energía. El estudio de la demanda útil se realiza normalmente en un ámbito muy reducido, por ejemplo cuando se diseña una unidad de servicio. En este caso, una de las funciones del proyectista de la unidad de servicio es la de estimar las necesidades de energía útil de esa unidad y mediante el conocimiento de los rendimiento de los dispositivos utilizados calcular la energía secundaria demandada por la misma.

El análisis de la demanda a nivel de energía secundaria suele realizarse en un ámbito mayor con el fin de conocer las necesidades de energía por sectores (industrial, transportes, residencial...) en una región o país. Y por último, a partir de conocimiento de la demanda de energía secundaria junto con otros datos como las disponibilidades de las distintas fuentes de energía, se puede establecer las previsiones sobre la demanda de energía primaria.

La demanda energética, como se indicó anteriormente, ha ido aumentando de un modo continuado, pero simultáneamente a esta evolución se produjo un cambio de la estructura de producción, perdiendo importancia relativa algunas de las fuentes de energía primeramente utilizadas y apareciendo otras nuevas. Esta sustitución de unas fuentes energéticas por otras ha sido esencial para poder atender la creciente demanda de energía. A finales del siglo XIX, la madera y los residuos vegetales fueron desplazados por el carbón como principal fuente de calor y fuerza motriz. Se ha estimado que, en 1900, el total de consumo mundial de energía era equivalente a 38'5 EJ siendo suministrado el 58% por el carbón, 39% por la madera y otros residuos de las actividades agrarias, y únicamente un tímido 3% por el petróleo y el gas

natural. Esta primacía del carbón se ha mantenido hasta principios de la década de 1950, siendo reemplazado posteriormente por el petróleo y el gas natural.

En 1950 el carbón representaba todavía a nivel mundial aproximadamente el 56% de las fuentes de energía primaria, y en 1975 sólo alcanzó el 33% (véase Tabla 3). Pero es importante señalar que, a pesar de esta disminución relativa, el valor absoluto del consumo del carbón no sólo no bajó sino que casi se duplicó en ese período de 25 años debido a la rápida expansión de la demanda total de energía. Ahora bien, la citada expansión de la demanda fue posible también gracias a las grandes disponibilidades de otras dos fuentes de energía primaria que han tomado el relevo: el petróleo, que pasó en 1975 a constituir el 44% del total de la energía habiendo partido de 29% en 1950, y el gas natural que partió de un valor muy bajo, 9%, y alcanzó un 20'4%.

Son diversos los factores que pueden explicar la rápida pérdida de participación del carbón en favor del petróleo en el abastecimiento energético mundial. En primer lugar se puede indicar una serie de razones tecnológicas que justifican el citado desplazamiento:

- La extracción del crudo de petróleo y su posterior transporte y distribución son operaciones más fáciles de realizar que las correspondientes al carbón. (Un líquido presenta ciertas ventajas de manipulación frente a un sólido).
- La gran variedad de productos que se pueden obtener del petróleo mediante operaciones físicas y procesos químicos de transformación relativamente sencillos y facilitados también, en parte, por la condición de ser el crudo un líquido. De este modo se obtienen carburantes líquidos para diversos medios de transporte, combustibles de uso doméstico o industrial, aceites lubricantes y una gama de productos químicos orgánicos de base que han permitido el desarrollo de la petroquímica con sus repercusiones en las industrias de fertilizantes, caucho artificial, fibras sintéticas, plásticos, detergentes, etc...
- El desarrollo del transporte por carretera que solamente podía consumir carburantes líquidos.

Junto a las razones tecnológicas anteriormente expuestas para explicar el retroceso del carbón frente al petróleo, hay que añadir las causas de naturaleza económica: en el decenio de los 60 los costos de extracción del carbón crecieron, y por tanto los precios del mismo, y por el contrario, el precio internacional de los crudos del petróleo descendió.

En la Tabla 3 figuran, junto a la estructura de la demanda energética mundial, los datos correspondientes a determinados países y regiones del mundo que permiten observar grandes desviaciones entre ellos en el grado de participación de las diversas fuentes de energía. En cuanto al carbón, se observa una participación muy baja en Canadá (11% frente al 33% de media



mundial). En contraste con esta situación, los países de Europa Oriental todavía mantienen un elevado consumo de carbón (65 por ciento) y muy bajo de petróleo (20%), aunque hay que tener en cuenta que en el año 1950 el abastecimiento de energía en estos países se basaba casi exclusivamente en el carbón (92'5%) y por consiguiente el cambio ha sido sustancial.

Con respecto al gas natural se debe señalar que si es importante su incremento de participación en la demanda energética mundial desde 1950 a 1975 (de un 9% a un 20'4%), todavía lo es más si se analiza ese incremento por regiones o por países. Así, por ejemplo, el valor mundial relativamente alto de 1950 se debe fundamentalmente al peso aportado sobre el promedio mundial por el gran consumo de gas natural (en valor relativo y absoluto) de EE.UU. (18% de 36 EJ). En consecuencia, la mayor parte del resto de los países partieron de consumos de gas natural muy bajos en 1950, de un 2 o un 3%, y han sido altamente significativos los incrementos de consumo. En este sentido destacan Canadá y U.R.S.S., que han pasado, en 1975, a consumir más de 27% de su energía total en forma de gas natural.

La evolución del balance de energía primaria en España se muestra en la Tabla 4. Son características destacables de esta evolución:

- El carbón, que en 1955 participaba en la demanda energética con un 56% aproximadamente, ha perdido importancia relativa como fuente de energía, quedando reducida su participación en la actualidad a un 15%, inferior a la mitad de su valor medio mundial.
- En contrapartida, el petróleo, en 1979, representaba en 65'4 de las fuentes de energía primaria en España, porcentaje muy superior al valor medio mundial (44%).
- El gas natural tiene una participación en la demanda energética de España muy pequeña (2%). Esta baja contribución contrasta con la importancia adquirida por el gas natural en los países más industrializados (30% en EE.UU., 15% en Europa Occidental).
- La energía hidráulica más la energía nuclear dan origen a la electricidad primaria. A nivel de balance de energía secundaria o final, a la energía eléctrica anterior hay que añadir la generada en las centrales térmicas mediante la combustión de fuel-oil y carbón, que en 1978 alcanzó aproximadamente el 50% de toda la energía eléctrica producida en España.

Como resumen, y a modo de conclusiones, cabe hacer una serie de consideraciones sobre la evolución que se ha operado en la estructura de la demanda de energía primaria.

En primer lugar, el desplazamiento del carbón por el petróleo como principal fuente de energía, ha supuesto, en general, un aumento del grado de dependencia entre los diversos países, a efectos de la adquisición de suministros energéticos. En efecto, los yacimientos de carbón están más

uniformemente distribuidos por la corteza terrestre que los del petróleo, y aunque existen países grandes productores de carbón, en algunos casos, son también grandes consumidores de energía, y en consecuencia, el comercio internacional del carbón afecta a cantidades relativamente modestas comparadas con la producción total. No es éste el caso del petróleo, pues sus yacimientos más importantes están localizados en unas pocas zonas geográficas muy determinadas con grandes producciones que, en general, no pueden ser consumidas por los propios países propietarios de los yacimientos. Un dato ilustrativo en este sentido es la producción media del conjunto de los países de la OPEP en 1980, (28 millones de barriles diarios) y su comparación con la capacidad de consumo de estos países (menos de dos millones de barriles diarios). El comercio internacional de crudos de petróleo afecta aproximadamente al cincuenta por cien de la producción mundial.

Otro aspecto importante de la evolución de la estructura de la demanda energética que se debe comentar ampliamente es el desarrollo espectacular de la utilización del gas natural.

El empleo del gas natural presenta unas considerables ventajas sobre otros combustibles, destacando su calidad y relativo bajo costo. La calidad del gas natural se basa en la constancia de su composición, con ausencia de contaminantes y productos tóxicos que le definen como combustible limpio y en la comodidad y flexibilidad de su empleo. Su utilización puede contribuir, de manera muy importante, a reducir la contaminación atmosférica.

Estas características del gas natural le hacen muy adecuado para su utilización como combustible en usos domésticos y comerciales, y en aquellos procesos industriales en los que su uso puede incrementar la calidad de los productos fabricados. En los hornos cerámicos, para la cocción de la porcelana, por ejemplo, se exige un perfecto control de la temperatura y una atmósfera carente de productos contaminantes, lo que se puede conseguir con la utilización de gas natural. Otro tanto se puede decir de los hornos metalúrgicos de recalentamiento y tratamiento.

Como se indicó anteriormente, la participación del gas natural en el abastecimiento energético, en el año 1959, solamente era significativa en EE.UU. donde se consumía aproximadamente el 90% de la producción mundial y existía una extensa infraestructura de transporte y distribución por gasoductos.

En Europa el desarrollo de la utilización del gas natural se inicia a raíz de los descubrimientos de los yacimientos del valle del Po en Italia (1950), Gröninger en Holanda (1962) y los del Mar del Norte a partir de 1965. En la creación de la infraestructura de transporte por gasoducto se utilizaron las numerosas redes de distribución pública ya existentes que venían alimentándose con gases manufacturados (gas de hulla, gas de coquería, etcétera).

El comercio intercontinental del gas natural se inició cuando se resolvieron los problemas técnicos para llevar a cabo el transporte de gas

natural licuado (GNL) en buques metaneros (1964). A presión atmosférica se necesita una temperatura muy baja (-162° C) para la licuación del gas natural.

España, a diferencia de la mayoría de los países europeos, no ha encontrado yacimientos de gas natural de entidad que estén en explotación. La pequeña participación del gas natural (2%) en el abastecimiento energético de España se debe al GNL importado de Libia y Argelia y regasificado en la terminal de Barcelona. En un primer momento (1970) se comercializó en Barcelona mediante la red de distribución de gas ciudad ya existente, atendiéndose así la demanda tanto de uso domestico-comercial como industrial. Se encuentra muy avanzada la construcción de un gasoducto que partiendo de la terminal de recepción y regasificación de GNL situada en el puerto de Barcelona llegará en una primera fase, por una lado a Valencia y por otro al País Vasco.

TABLA 3

ESTRUCTURA DE LA DEMANDA ENERGÉTICA MUNDIAL

	1950					1975				
	Carbón %	Petróleo %	Gas Natural %	Electr. Primaria %	Total EJ	Carbón %	Petróleo %	Gas Natural %	Electr. Primaria %	Total EJ
Media mundial	55'7	28'9	8'9	6'5	80'97	32'8	44'1	20'4	2'8	244'6
Algunas regiones y países										
EE.UU.	37'8	39'5	18'0	4'7	35'99	22'3	44'3	30'9	2'5	71'8
Canadá	40'6	28'6	2'8	27'9	2'86	11'1	49'7	27'9	11'3	7'0
Europa Occidental	77'4	14'3	0'3	8'0	18'42	25'1	54'7	15'9	4'2	44'9
Japón	61'9	5'0	0'2	32'9	1'83	20'0	73'4	3'2	3'4	12'3
U.R.S.S	75'6	19'7	2'5	2'3	8'88	34'6	36'8	27'5	1'1	43'1
Europa Oriental	92'5	4'8	2'0	0'7	4'65	65'1	20'0	14'1	0'8	17'0

Fuente: Ref. (1) La electricidad primaria incluye la energía hidráulica y la energía nuclear.

TABLA 4

ESTRUCTURA DE LA DEMANDA ENERGÉTICA ESPAÑOLA

AÑO	Carbón %	Petróleo %	Gas Natural %	Energía Hidráulica %	Energía Nuclear %	Energía Total Mtec.
1955	55'8	23'8	-	20'4	-	25'5
1963	39'8	35'5	-	24'7	-	36'9
1973	17'3	66'7	1'4	12'0	2'6	84'0
1976	15'4	72'1	2'0	7'9	2'6	93'9
1977	15'5	66'5	2'0	14'0	2'0	98'1
1978	15'1	66'8	2'0	13'9	2'2	101'0

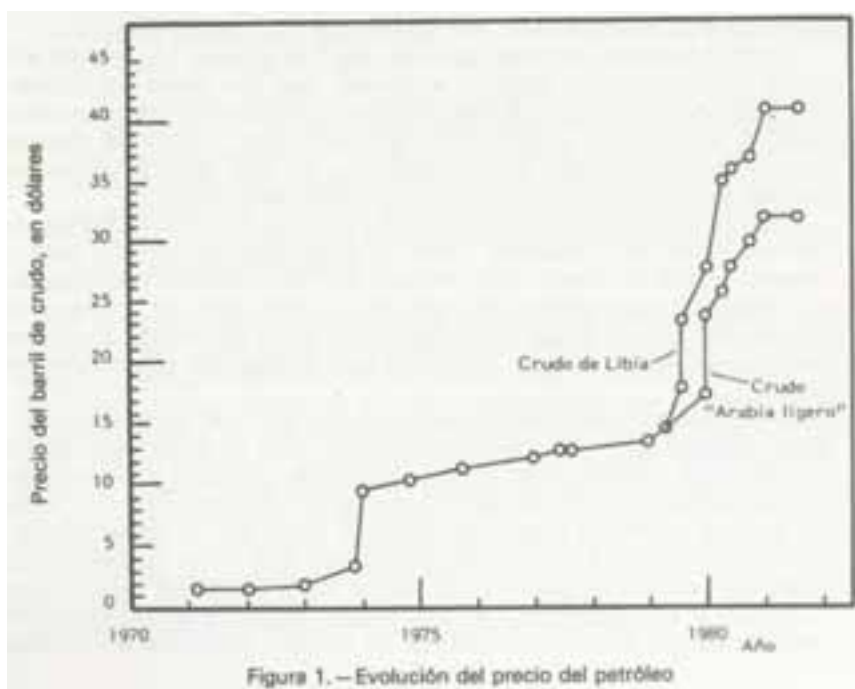
1979	15'2	65'4	2'0	15'4	2'0	104'1
------	------	------	-----	------	-----	-------

Fuente: Ref. (3). Los datos de 1955 de primeras ediciones de ref. (2).

### 3.- LA CRISIS ENERGÉTICA

#### 3.1. – El precio del petróleo

A finales de 1973, los países productores de petróleo agrupados en la OPEP acordaron una subida espectacular del precio de los crudos y una reducción selectiva de sus ventas a través del embargo de determinados mercados. Desde enero de 1973 a enero de 1974, el precio del barril de crudo pasó de 1'62 dólares a 9'31 dólares, lo que supuso multiplicar casi por 6 su valor en un solo año.



En la figura 1 se representa la evolución del precio de crudo desde 1971 hasta 1981, y en ella se puede apreciar que la línea continua resultante tiene unos tramos con una suave pendiente positiva que contrastan con dos escalones o subidas bruscas: uno de 1973-74 y otro en 1979. La primera “crisis del petróleo”, la de 1973-74, estuvo precedida, en primer lugar, por una situación inflacionaria mundial que significaba un descenso del precio del crudo en términos reales y, en segundo lugar, por la guerra árabe-israelí, que actuó de verdadero detonante del disparo de los precios del petróleo.

El otro escalón, la segunda “crisis del petróleo” tiene lugar en 1979, y también está relacionado con acontecimientos políticos en el Medio Oriente, la revolución islámica en Irán. En un año, desde enero de 1979 a enero de 1980, el precio del barril de crudo pasa de 13'33 dólares a un valor promedio de 26 dólares, que supone una duplicación del precio.

En 1971 el precio del barril de crudo era 1'27 dólares. En julio del año actual, 1981, existe un abanico de tarifas, que van desde 32 dólares, precio

llamado “marcador” o “de referencia” que corresponde al petróleo saudí “Arabia Liger”, de 34° API, hasta 41 dólares, precio del petróleo libio de máxima calidad. En consecuencia, en diez años el precio del petróleo se ha multiplicado por un factor aproximado de 30.

El aumento de los precios del petróleo es solamente uno de los aspectos de la “crisis de la energía”. Tiene también influencia en esta crisis la difusión en todo el mundo, y por primera vez, de un sentido de temor a la escasez y agotamiento inevitable en un plazo corto de la fuente de energía, que tiene su origen en un producto natural no renovable, y cuyas reservas no crecen al ritmo necesario para compensar el aumento de consumo.

Evidentemente, las posibilidades de agotamiento de las reservas limitadas del petróleo se han conocido siempre, pero es al principio de los años 70, y a la vista de la evolución acelerada del consumo energético del decenio anterior, cuando se generaliza el sentimiento de temor a la escasez. En este sentido, la subida del precio del crudo por los países productores pertenecientes a la OPEP es utilizado por ellos como un mecanismo de defensa de sus recursos con el fin de evitar su rápido agotamiento como ocurriría en el caso de mantener precios bajos. En la Tercera Conferencia Anual de la Economía Mundial de Energía, celebrada en Londres en Abril de 1978, un vicepresidente de SONOTRACH, Compañía Estatal de Argelia, argumentaba así en su ponencia titulada: “La política de premios como instrumento para la administración óptima de la herencia mundial de energía (4).

“... de continuar la tendencia actual, en 1990 la demanda mundial de petróleo será de más de 90 millones de barriles por día, y se habrán consumido más de la mitad de las reservas conocidas en la actualidad.”

“El impacto de este pronóstico de consumo en los países de la OPEP será dramático, puesto que incluso en el caso del miembro con más reservas estos recursos habrán sido totalmente agotados antes de que un niño nacido hoy llegue a la vejez”.

“Para nuestro países, el petróleo es la manera apropiada de responder a las aspiraciones de nuestras gentes, no sólo en conseguir la financiación para la creación de una infraestructura económica independiente, sino también para proporcionar una fuente de energía y materias primas que respondan a la demanda interna en aumento que traerá consigo el desarrollo industrial”.

“... ¿cómo puede un Gobierno responsable agotar sus reservas en el espacio de una sola generación y condenar a su propia gente a una escasez de energía? Miremos a Rumania para tomar un ejemplo y como aviso para nosotros; dicho país era una vez el más importante exportador de Europa y, sin embargo, hasta ahora se ha visto forzado a importar cantidades cada vez mayores de petróleo para hacer frente a sus propias necesidades.”

En la representación gráfica de la evolución de los precios del crudo (Figura 1) se puede observar también que desde mediados de 1979 la línea de precios es doble la inferior corresponde al precio “de referencia” del crudo “Arabia Ligero” de 34° API y la línea superior al precio de los crudos africanos de máxima calidad de Argelia, Libia y Nigeria. Entre estos valores máximo y mínimo se sitúan los precios del petróleo procedente de Kuwait, Katar e Iraq. Este abanico de precios es debido a la falta de unidad de criterio en el seno de la OPEP. Los países norteafricanos, Argelia y Libia, prefieren una política de precios altos, aun a costa de la reducción de sus niveles de producción, con el fin de prolongar la duración de sus reservas. Por el contrario, Arabia Saudí, país de Oriente Medio con más reservas, mantiene una política más moderada de precios.

La última subida de los precios tuvo lugar en la 59 reunión de ministros de la OPEP en Bali (Indonesia) en diciembre de 1980, en la que se fijó el precio “de referencia” en 32 dólares y el precio de los crudos africanos en 41 dólares. Estas últimas subidas de precios han provocado una efectiva reducción de los volúmenes de producción total de la OPEP de 28 millones de barriles diarios en 1980 a 21'5 en junio de 1981.

Pero esta reducción no ha afectado por igual a todos los países. Debido a la amplia diferencia de precios, muchos países consumidores han preferido concentrar sus compras en el crudo saudí y reducir al máximo las adquisiciones de los más caros. Esta tendencia se ha visto favorecida por la actitud colaboradora de Arabia Saudí, que ha producido tanto el petróleo que podía vender, del orden de 10'3 barriles diarios, aproximadamente la mitad de la producción total de la OPEP. Por el contrario, los países africanos vieron reducidas sus ventas en una gran proporción.

En la última reunión de la OPEP mantenida en Ginebra en agosto de 1981 Arabia Saudí decidió mantener el precio de su petróleo a 32 dólares hasta finales de 1982, y por consiguiente, cabe esperar, a corto plazo, una cierta estabilidad del mercado.

### 3.2.- Recursos energéticos de combustibles fósiles

El progresivo encarecimiento del petróleo, principal componente del abastecimiento energético, es el primer síntoma de la “crisis energética”. Pero la gravedad de la misma vendrá dada por la mayor o menor rapidez del agotamiento de los yacimientos de petróleo y por las posibilidades técnicas y económicas de la sustitución de este combustible fósil por otras fuentes de energía primaria que sean, o más abundantes o bien de carácter renovable.

La estimación de los recursos y reservas de los combustibles fósiles ha recibido una atención creciente en los últimos años por diferentes organismos. Debido a un cierto componente de subjetividad en los métodos de estimación de los recursos energéticos, no todos los datos disponibles son coincidentes. La información más utilizada en los estudios sobre la problemática energética

es la procedente de las sucesivas convocatorias de la Conferencia Mundial de la Energía.

Se suele distinguir entre recursos y reservas de un mineral. Recursos es un concepto de significado más amplio que reservas y designa a la cantidad total de un determinado mineral potencialmente explotable suponiendo un progreso de las técnicas de extracción e incluso modificaciones de costes y precios en el futuro. Reservas incluye únicamente aquella parte de los recursos que es conocida con razonable certeza y que se puede producir y vender ahora, en las condiciones técnicas y económicas actuales.

Mediante el progreso de la tecnología de extracción los recursos se convierten en reservas. El mismo efecto se produce cuando se modifican determinadas magnitudes económicas que hacen rentable la explotación de un recurso que anteriormente no lo era.

Es evidente que la estimación de reservas se puede hacer con más exactitud que la correspondiente a recursos, pues las condiciones técnicas y económicas actuales se conocen, y no necesita de hipótesis sobre los previsibles avances tecnológicos futuros como ocurre en el segundo caso.

*Petróleo.*- Después de los últimos descubrimientos realizados en México, las estimaciones de las reservas mundiales probadas no han sufrido prácticamente ninguna variación de importancia (1) (5) (6) (7), siendo 87'4 10<sup>9</sup> toneladas la referida al año 1979.

En la Tabla 5 se presentan algunos datos sobre la distribución geográfica de reservas y recursos de petróleo. Se ha de destacar que más de la mitad de las reservas mundiales se encuentran en Oriente Medio (56%).

Tabla 5

RESERVAS Y RECURSOS DE PETROLEO

	Reservas		Recursos
	10 <sup>9</sup> toneladas	%	10 <sup>9</sup> toneladas
América del Norte	6'9	7'8	20'5 – 34'2
América del Sur	3'6	4'1	11'0 – 16'4
Europa Occidental	3'7	4'2	6'8 – 9'5
Europa Oriental	0'4	0'5	-
U.R.S.S	10'3	11'6	19'1 – 27'2
África	8'1	9'1	13'7 – 20'6
Oriente Medio	50'2	56'6	97'0 – 136'0
China	2'7	3'0	-
Otros países de Asia	2'5	2'8	12'4 – 19'1
Australia	0'3	0'3	-
Total	88'7		180'5 – 263'0

Fuente: Ref. (1).

Siendo Arabia Saudí y Kuwait los países árabes que más contribuyen a este elevado porcentaje: el primero con el 25% del total mundial y el segundo con el 10%. Otras regiones con altos valores de reservas de petróleo son U.R.S.S. (12%), África (9%) y América del norte (8%).

La producción de crudo en el año 1979 fue aproximadamente de  $3'2 \cdot 10^9$  toneladas. El cociente reservas/producción anual es 27, que tiene el significado de los años que pueden durar las reservas de producción se mantiene al nivel actual y no se descubren nuevas reservas ni se utilizan los recursos adicionales con técnicas previsibles en el futuro. Es decir, bajo las hipótesis anteriores, antes del año 2010 se habrán agotado las reservas probadas de petróleo.

Evidentemente, el plazo de 27 años calculado para el agotamiento de las reservas puede ser alargado si se hallan nuevos yacimientos, como ha ocurrido repetidamente en el pasado (los ejemplos más recientes son los nuevos campos petrolíferos del Mar del Norte, Alaska y Méjico): También hay que considerar como factor favorable la posible conversión de los recursos actuales en reservas futuras mediante el perfeccionamiento de las técnicas de extracción. En este sentido hay que señalar que las estimaciones sobre recursos mundiales de petróleo oscilan entre un valor mínimo de  $180 \cdot 10^9$  toneladas (1) y un valor más alto,  $550 \cdot 10^9$  toneladas (5), es decir, una capacidad potencial de suministrar durante 56 y 172 años, respectivamente, la producción mundial de 1979. Estas últimas consideraciones pueden hacer aparecer como demasiado pesimistas los continuos pronósticos sobre un próximo agotamiento de petróleo.

Sin embargo, hay otros factores negativos que no permiten ser demasiado optimistas. La producción anual de petróleo, a pesar de la crisis, no se mantiene constante y sigue aumentando, aunque a decir verdad, con tasas de crecimiento más reducidas que en el decenio de los 60. Por otro lado, muchos hallazgos de yacimiento suelen realizarse en zonas cada vez más difíciles de explotar y con altos costes de extracción, como ocurre en los campos petrolíferos situados en aguas marinas más profundas.

*Gas natural.*- Las reservas mundiales probadas de gas natural son, en equivalente energético, aproximadamente iguales que las del petróleo (1) (5) (6) (7), pero las mayores dificultades que supone el transporte y la distribución de un gas con respecto a los líquidos que hace que su comercio internacional no esté tan desarrollado como el del petróleo y, en consecuencia, la producción mundial de gas natural es prácticamente la mitad de la correspondiente a los hidrocarburos líquidos.

En la Tabla 6 se muestran algunos datos sobre reservas y recursos de gas natural. Las tres áreas geográficas con mayores reservas son U.R.S.S (37%), Oriente Medio (29%) y América del Norte (11%). Esta distribución geográfica de las reservas de gas natural es significativamente distinta de la correspondiente al petróleo, a pesar de que el gas natural y el petróleo se suelen presentar frecuentemente juntos en los mismos depósitos.



Las reservas mundiales de gas natural, referidas al año 1979, se estiman en  $72'86 \cdot 10^{12}$  m<sup>3</sup>. Con un equivalente térmico de  $72'86 \cdot 10^9$  tep., cantidad muy próxima, como se ha dicho antes, a las reservas de petróleo. Con una producción anual en el mismo año de  $1'48 \cdot 10^{12}$  m<sup>3</sup>. Se obtiene un valor del cociente reservas/producción anual de 49, algo superior al obtenido para el petróleo.

Aun teniendo en cuenta el carácter aproximado de los cálculos y que, por consiguiente, 27 y 49 años son únicamente valores indicativos, con cierta dosis de incertidumbre, de los plazos de tiempo en los que se espera el agotamiento del petróleo y del gas natural, es indudable que a comienzos del siglo próximo, estas dos fuentes de energía habrán perdido la importancia que actualmente tienen en el abastecimiento energético mundial, entrando en un período de transición hacia un sistema energético múltiple con fuentes diversificadas de energía en el que no exista una tan fuerte dependencia de una de ellas como ocurre ahora.

TABLA 6

RESERVAS Y RECURSOS DE GAS NATURAL

	Reservas		Recursos $10^{12}$ m <sup>3</sup>
	$10^{12}$ m <sup>3</sup>	%	
América del Norte	7'58	10'8	50'9 – 56'6
América del Sur	2'24	3'2	22'6 – 25'5
Europa Occidental	3'90	5'5	14'2
Europa Oriental	0'28	0'4	28'3
África	5'86	8'3	49'5
Oriente Medio	20'30	28'9	
U.R.S.S.	26'00	37'0	80'6
China	0'70	1'0	
Otros países de Asia	2'60	3'7	
Australia	0'90	1'3	14'2
TOTAL	70'36		260'3 – 268'9

Fuente: Ref. (1)

*Carbón.*- El carbón es el más abundante de los combustibles fósiles. Las reservas mundiales de hulla y antracita se estiman en  $492 \cdot 10^9$  tec y las de lignito en  $143 \cdot 10^9$  tec que dan un total de  $635 \cdot 10^9$ . En 1975, la producción mundial de carbón ascendió a  $2'6 \cdot 10^9$  tec que supone una relación de reservas a producción de 244 años, mucho mayor que la obtenida para el petróleo y el gas natural.

Si en vez de considerar únicamente las reservas, se tienen en cuenta los recursos llegaría a la conclusión de que se dispone de una fuente casi ilimitada

de energía. En efecto, las reservas estimadas de hulla, antracita y lignito se estiman en  $10125 \cdot 10^9$  tec, que asegurarían la extracción al ritmo actual durante un período de 3.900 años.

Si el cálculo se realiza suponiendo que el carbón suministrase todo el consumo mundial de energía como única fuente, también se obtendría un elevado número de años, sobre 1.100, con energía garantizada.

Sin embargo, el análisis anterior sobre las posibilidades del carbón es muy simplista, y no ha tenido en cuenta una serie de factores que hacen muy compleja y difícil la sustitución del petróleo y del gas natural por el carbón. En primer lugar se deben citar las mayores dificultades de extracción y utilización del carbón en comparación con las que presentan los hidrocarburos líquidos y gaseosos.

En cuanto a las dificultades de extracción del carbón no es necesario insistir mucho en ello por ser muy conocidos los problemas que presenta la minería del carbón, condicionada por el espesor, inclinación y profundidad de las capas de carbón en el yacimiento. Estas dificultades, implican la imposibilidad de una sustitución inmediata, a corto plazo, de todo el petróleo que se consume actualmente. En primer lugar, no parece posible desarrollar la industria minera mundial del carbón a los niveles de producción necesarios para esta sustitución. Tampoco sería posible el desarrollo de los medios de transporte adecuados para atender los grandes intercambios que exigiría el nuevo mercado mundial del carbón.

Otro aspecto que se debe considerar es que la abundancia y el bajo precio de la energía primaria petróleo, durante los decenios anteriores a 1970, ha creado unos hábitos de consumo de energía final que no se pueden atender ahora con el carbón. Por ejemplo, en la estructura del consumo de energía final, el sector transporte puede figurar con un porcentaje próximo al 30%, y prácticamente la energía utilizada por el sector transporte está suministrada por carburantes líquidos obtenidos por refinación o destilación del petróleo. La transformación del carbón en combustibles líquidos y sintéticos, aunque técnicamente posible, tiene grandes dificultades de viabilidad económica y de establecimiento rápido de toda la infraestructura necesaria para sustituir las instalaciones actuales de las refinerías de petróleo.

Y no se puede olvidar otro factor que hace muy difícil que sea reversible el cambio de fuente de energía primaria que tuvo lugar en los años 50. En los momentos actuales es muy difícil la vuelta del carbón como única o principal fuente de energía primaria debido a que los condicionamientos y exigencias medioambientales no permitirían el uso masivo del carbón como combustible. El tipo y magnitud del impacto sobre el medio ambiente es diferente para cada combustible. En la combustión se produce contaminación atmosférica por la emisión en mayor o menor cantidad de una serie de sustancias contaminantes como óxido de nitrógeno y azufre, partículas sólidas, residuos de hidrocarburos sin quemar, monóxido de carbono e incluso trazas de metales.

El gas natural es el más limpio de los combustibles fósiles, produciendo un mínimo de contaminantes en el aire. Otro tanto se puede decir de los gases licuados del petróleo (G.L.P.) constituidos por butano y propano. La combustión de derivados líquidos del petróleo, como fuel-oil y gasóleos, produce algo más de contaminantes que el gas, con la emisión de cantidades variables de óxidos de azufre dependientes del contenido en azufre del combustible. Los fuel-oil más pesados también producen una gran cantidad de partículas sólidas como resultado de su combustión incompleta. Y siguiendo en este orden creciente de combustible fósiles cada vez más contaminantes se llega al carbón. El control y la regulación del proceso de combustión de un sólido, evidentemente, presenta más dificultades que en el caso de un gas o un líquido. La combustión incompleta del carbón supone, por un lado menor rendimiento energético y por otro la necesidad de incorporar a las instalaciones de combustión costosos sistemas para reducir la contaminación. La transformación de carbones en productos energéticos líquidos o gaseosos permitiría un uso más extendido y diversificado de esta fuente de energía primaria. La combustión directa en carbones pulverizados se está utilizando para la producción de electricidad en centrales térmicas de nueva construcción o bien en las antiguas que utilizaban fuel-oil, mediante una reconversión previa de sus instalaciones. La sustitución del fuel-oil por carbón también se está llevando a cabo en determinadas industrias de elevado consumo energético, por ejemplo en las fábricas de cemento. Por otra parte la utilización del carbón en el sector doméstico y residencial exigiría la gasificación del mismo en grandes centrales, la depuración y eliminación del contenido en azufre del gas resultante y una adecuada red de distribución.

### 3.3.- El problema energético y sus alternativas

En los apartados que anteceden se ha estudiado el origen de la llamada "crisis de la energía". El planteamiento del problema energético, y sus características, se puede resumir en los siguientes puntos:

1. El crecimiento rápido de la demanda energética puede producir el agotamiento a corto plazo de dos de las fuentes de energía primaria, petróleo y gas natural, que conjuntamente participan en el 65% del aprovisionamiento mundial de energía.
2. El precio del petróleo se ha visto multiplicado en los últimos 10 años por un factor aproximado de 30. Se ha determinado la época de energía barata y abundante que posibilitó un período de elevado crecimiento y desarrollo económico.
3. Existe una marcada correlación positiva entre el grado de desarrollo de un país y su utilización de la energía. Antes de la crisis energética se estimaba que la elasticidad de la demanda de energía era del orden de 1, es decir, que para producir un incremento del 1 por 100 en el Producto Nacional Bruto (PNB) se necesitaba de un incremento de 1 por 100 también en la demanda de energía. Por consiguiente el consumo mundial de energía deberá seguir subiendo con el fin de que no se detenga el

desarrollo, sobre todo en los países que todavía no han alcanzado cierto nivel de industrialización. Ahora bien, el aumento del precio de la energía está obligando a una utilización más racional y eficaz de la energía, evitándose el llamado despilfarro energético de los años desarrollistas, con el resultado de una reducción de la elasticidad de la demanda energética a valores inferiores a la unidad, significando que se requerirá menos energía para conseguir los mismos objetivos económicos.

4. A pesar de hablarse de una escasez de recursos energéticos, esta afirmación no es cierta desde un punto de vista de energía total, pues la humanidad dispone con el carbón de una fuente casi ilimitada de energía. En realidad el problema energético radica en la escasez potencial de cierto tipo de combustible, en particular los combustibles líquidos. El agotamiento del petróleo a medio plazo deberá venir compensado con su sustitución por otros combustibles líquidos sintéticos. Este es el reto con que se enfrentan los países industrializados.
5. Debido a la especial distribución geográfica de los yacimientos petrolíferos, existe una situación de gran dependencia de los países más consumidores (Europa Occidental y Japón) en relación con el comercio internacional de petróleo procedente de los países productores. Esta situación de dependencia se ha hecho más patente con motivo de la subida de los precios del petróleo y de acontecimientos políticos en el Oriente Medio. El cambio que se está produciendo en el aprovisionamiento de energía tiende a un sistema energético múltiple, de fuentes diversificadas de energía, con el fin de evitar la fuerte dependencia con respecto a una de ellas. Se necesita, pues, introducir sin demora los cambios estructurales de orden económico, social y tecnológico, que supone la progresiva utilización de fuentes nuevas de energía, y en lo posible, renovables.
6. Otro aspecto del problema energético actual que se debe mencionar es el hecho de que la crisis de energía afecta a la humanidad de manera muy desigual. La crisis, que alcanza tanto a los países industrializados como a los que están en desarrollo, tiene una repercusión especial en estos últimos. Los países ya industrializados hicieron grandes inversiones en infraestructura utilizando grandes cantidades de energía a precios relativamente bajos. Sin embargo, los países que están llevando ahora su proceso de desarrollo económico y de modernización, tienen que adquirir ahora la energía necesaria a precios muy superiores a los pagados por los primeros. La solución de este problema solamente se puede llevar a cabo en un marco de cooperación internacional. En este sentido, se ha de comentar la reciente Conferencia de las Naciones Unidas sobre las fuentes nuevas y renovables celebrada en Nairobi en agosto de 1981, cuya

finalidad principal fue elaborar medidas con vista a la acción coordinadora necesaria para promover el desarrollo y la utilización de las fuentes nuevas y renovables de energía, haciendo particular hincapié en los esfuerzos dirigidos a acelerar el desarrollo de las naciones del Tercer Mundo. El interés de la cooperación internacional en la resolución de los problemas planteados por la crisis energética se puede poner también de manifiesto por la existencia de organismos como la Agencia Internacional de la Energía (AIE), organismo filial de la OCDE, que agrupa a veinte países, entre ellos España. La AIE promueve la firma entre sus miembros de acuerdos de investigación y desarrollo de nuevas energías. Por ejemplo, las centrales eléctricas de energía solar que se construyen en la provincia de Almería es un proyecto patrocinado por varios países de la AIE.

7. Por último, se debe hacer referencia a una característica de la estructura sectorial de consumo energético final, su estabilidad, que impone unos condicionamientos a las posibles actuaciones frente a la crisis energética. En un país con cierto grado de desarrollo industrial, la evolución estructural de consumo de energía final es muy lenta, como se puede observar en la Tabla 7, donde se muestran, a título de ejemplo, datos estadísticos referentes a España, desde el año 1968 al 1976, junto con las previsiones hasta el año 2000, procedentes de un estudio realizado por Unidad Eléctrica S.A. (UNESA) (8). Según este estudio, el sector industrial consumió en 1968 el 47'9% de la energía final, y en el año 2000 ese porcentaje se habrá modificado solamente en un punto (46'7%). Otro tanto se puede decir de los restantes sectores (transporte, residencial y comercial, agrícola y ganadero), pues su participación en el consumo energético no sufrirá prácticamente variación apreciable desde el año 1968 al año 2000. Este hecho significa que los necesarios cambios que se deben producir en la estructura de la demanda de energía primaria –sustitución del petróleo y gas natural por otras fuentes de energía- no deben modificar la proporción en que participa cada forma de energía secundaria en la demanda final, lo cual supone una restricción en el proceso de sustitución por energía alternativas. No siempre tiene viabilidad técnica y económica la conversión de una fuente de energía a todas las formas de energía demandadas, y por consiguiente la intercambiabilidad de fuentes de energía está limitada en este sentido. Si bien el petróleo y la hulla son igualmente útiles en la producción de energía eléctrica secundaria, el primero no es fácilmente sustituible por la hulla, y menos aún por otras fuentes de energía alternativas, en el suministro del queroseno-aviación demandado por el subsector de transporte aéreo. En resumen, en las condiciones actuales no existe ni fuente de energía única que pueda seguir satisfaciendo durante mucho tiempo totalmente las necesidades, ni nuevos recursos que puedan reemplazar completamente a los que hoy día existen.

Con respecto a las soluciones alternativas al problema creado por la crisis energética, aquí solamente se indicarán unas consideraciones generales, pues es evidente que las acciones concretas a realizar en un país determinado entran dentro del marco de su estrategia de desarrollo y su política energética, que vendrá condicionada por factores de muy diversa índole, no todos de carácter tecnológico.

#### 1.- *Ante el crecimiento de la demanda energética.*

a) *Conservación y ahorro de energía.* En casi todos los países se ha iniciado una política de ahorro energético en el sentido de un uso más racional y eficiente de la energía, mediante información al consumidor, precios más altos y mejoras tecnológicas. Los mayores ahorros de energía se pueden conseguir en el sector industrial por ser el mayor participante en el consumo final, tener más sensibilidad a la presión de la subida de los precios y estar capacitado técnicamente para mejorar las instalaciones con el fin de evitar pérdidas de energía. El ahorro energético es más difícil de conseguir en el sector residencial donde las decisiones del ahorro han de ser tomadas por consumidores individuales, con mayor resistencia a renunciar a las comodidades y beneficios que hasta ahora ha disfrutado gracias al despilfarro energético.

b) *Extender el uso del carbón,* que es el recurso más abundante de los combustibles fósiles. Esta vuelta al carbón se debe realizar de un modo lento por las limitaciones que ya se han indicado anteriormente. A corto plazo no es posible desarrollar la industria minera, los medios de transporte y la organización del mercado mundial a la escala adecuada para poder atender, como única fuente de energía, a todo el incremento de la demanda energética.

El carbón irá desplazándose gradualmente a los productos petrolíferos en sus aplicaciones: en una primera fase, como fuente de energía térmica para la producción de electricidad. En una segunda fase, como combustibles gaseosos y líquidos sintéticos. La gasificación del carbón permite obtener una mezcla de CO e H<sub>2</sub> que se puede convertir en CH<sub>4</sub>, gas natural sintético. Por otro lado, la hidrogenación del carbón da lugar a hidrocarburos líquidos. En una tercera fase, el carbón volverá a utilizarse como materia prima de la industria de química orgánica, retornando a la carboquímica que fue desplazada en el decenio de 1940-1950 por la petrolquímica.

c) *Potenciar el desarrollo de las fuentes nuevas y renovables de energía.* La aportación actual de las nuevas energías al balance energético mundial es prácticamente insignificante. Sin embargo, los esfuerzos que se están realizando en investigación y desarrollo de estas nuevas tecnologías permiten tener razonables expectativas de que a medio plazo la contribución de estas fuentes de energía sea significativa. En la Tabla 8 se muestra la perspectiva del suministro mundial de energía primaria hasta el año 2030, según el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas (IIASA) (9), en la que se puede observar

que la energía solar junto con las otras energías nuevas pueden llegar a participar con un 3'6% del total de energía en el año 2030.

Energía renovable, aunque no nueva, es la energía hidráulica. Generalmente las centrales hidroeléctricas suponen la inversión de capitales elevados, pero a cambio los costos de funcionamiento y mantenimiento son relativamente bajos. La larga vida útil de una central de este tipo, junto con la limpieza y alto rendimiento de la conversión de energía mecánica en eléctrica, hace que sea muy atractiva la posibilidad de incrementar la participación de la energía hidráulica en el balance energético mundial. La capacidad potencial de generación de energía hidroeléctrica se estima en unos 2'2 millones de MW. El 18% de esta cantidad se aprovecha actualmente, contribuyendo al total de energía eléctrica con el 21%. Sin embargo hay países, como Noruega, Canadá, Suecia y Brasil, en los que este último porcentaje se eleva al 80%.

Tabla 7

EVOLUCIÓN Y PREVISIONES DEL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL  
EN ESPAÑA

SECTORES									
	Industrial		Transportes		Residencial y comercial		Agrícola ganadero		TOTAL
ANO	Mtec.	%	Mtec.	%	Mtec.	%	Mtec.	%	Mtec.
1968	16'0	47'9	10'4	31'2	4'9	14'8	2'0	6'1	33'3
1970	21'1	50'4	12'1	29'8	6'2	14'9	2'5	5'8	41'9
1972	24'6	50'2	14'3	29'2	7'2	14'7	2'9	5'9	49'0
1974	29'4	51'1	16'1	29'1	8'2	14'3	3'7	6'5	57'4
1976	28'3	47'2	19'0	31'7	9'6	16'1	3'0	5'0	59'9
1985	37'2	47'3	24'3	31'0	12'7	16'2	4'3	5'5	78'5
1990	43'3	47'1	28'5	31'7	14'3	15'9	4'7	5'3	89'9
1995	46'7	46'7	32'2	32'2	15'9	15'9	5'2	5'2	99'9
2000	51'3	46'7	35'7	32'5	17'4	15'8	5'5	5'0	110'0

FUENTE: Tabla elaborada con datos de ref. (8). De 1968 a 1976, datos estadísticos del Ministerio de Industria y Energía. De 1985 a 2000, previsiones de UNESA.

TABLA 8

PERSPECTIVAS DEL SUMINISTRO MUNDIAL DE ENERGÍA  
PRIMARIA, 1975-2030

Fuentes primarias	1975 TW	Perspectiva de crecimiento fuerte		Perspectiva de crecimiento débil	
		2000 TW	2030 TW	2000 TW	2030 TW
Petróleo	3'62	5'89	6'82	4'75	5'02

Gas	1'51	3'11	5'97	2'53	3'47
Carbón	2'26	4'95	11'98	3'93	6'45
Reactor nuclear térmico	0'12	1'70	3'21	1'27	1'89
Reactor nuclear reproductor rápido	0'00	0'04	4'88	0'02	3'28
Hidráulica	0'50	0'83	1'46	0'83	1'46
Solar	0'00	0'10	0'49	0'09	0'30
Otras	0'21	0'22	0'81	0'17	0'52
TOTAL	8'21	16'84	35'65	13'59	22'39

FUENTE: Ref. (9)

Los problemas más importantes que presenta la utilización de este tipo de energía son los de carácter ambiental y social. Los embalses necesarios para regularizar la producción de energía suelen inutilizar zonas de cultivo e incluso desplazar a los agricultores. Además pueden afectar a los riegos y otros usos del agua, provocando conflictos entre las necesidades agrícolas y las energéticas. Últimamente se ha avivado el interés por los proyectos hidroeléctricos a pequeña escala: centrales de menos de 10MW que satisfagan las necesidades energéticas de poblaciones medianas. Aunque actualmente es dudosa la rentabilidad de estas pequeñas centrales, se espera que los progresos tecnológicos y el creciente encarecimiento de los combustibles inviertan esta situación.

La energía nuclear se podría clasificar como energía nueva pues aunque están en funcionamiento reactores nucleares térmicos que producen aproximadamente el 6% de la producción mundial de electricidad, se encuentran en fase de investigación y desarrollo nuevas tecnologías nucleares: los reactores reproductores rápidos y los reactores de fusión. Los reactores reproductores rápidos permitirían una mejor utilización del combustible nuclear (uranio) 60 veces mayor que la que se obtiene en los reactores térmicos actuales. El desarrollo comercial de estos reactores se espera que tenga lugar antes de finales de este siglo. Sin embargo, los reactores basados en la fusión nuclear que utilizarán como combustible isótopos del hidrógeno, tardarán mucho más tiempo en ser desarrollados; se estima que en el primer cuarto del próximo siglo.

Las primeras previsiones señalaban una alta participación de la energía nuclear en el futuro abastecimiento energético mundial. Pero los problemas de seguridad de las centrales nucleares, las dificultades de eliminación de los materiales radiactivos de desecho, junto con la presión social ante estos peligros, están retrasando los planes previstos para este tipo de energía. En el estudio realizado por IIASA (Tabla 8) se prevé una participación de la energía nuclear de 10% y 22% del total del suministro mundial de energía para los años 2000 y 2030 respectivamente.



*2.- Ante la fuerte dependencia del abastecimiento energético basado fundamentalmente en una fuente de energía.*

La medida a adoptar es la diversificación de las fuentes de energía buscando cada país la autosuficiencia energética. El petróleo es la fuente de energía que ha creado a los países consumidores una mayor dependencia del exterior. El deseo de reducir esa dependencia y de tender hacia la autosuficiencia energética es una de las razones más válidas para fomentar la investigación y el desarrollo de las nuevas energías que actualmente todavía son más caras que las procedentes de los combustibles fósiles. Las nuevas energías, si se quieren utilizar de un modo amplio, de tal modo que dejen de ser meros ejemplos ilustrativos y, por consiguiente, que sea significativa su participación en el abastecimiento energético, exigen grandes inversiones en infraestructura con rentabilidad inmediata dudosa. Pero la contrapartida y la justificación de esas grandes inversiones reside en los beneficios indirectos (ahorro de divisas, creación de nuevos empleos, fomento de la tecnología e industria del país) y en la posible rentabilidad a largo plazo. En este sentido, es ilustrativo comentar los proyectos y las realizaciones brasileñas en la conversión de la biomasa a etanol que ha suscitado polémicas entre los economistas de su país.

El empleo de alcoholes, metanol y etanol, como combustibles adicionados a las gasolinas es una práctica utilizada ya ocasionalmente con anterioridad a la crisis energética. En Francia, en los años 20, se añadía alcohol vínico excedentario a las gasolinas con la finalidad de estabilizar los precios del mismo. En Alemania, en los años 30, se utilizó como aditivo de las gasolinas el alcohol procedente de la fermentación de las patatas. Pero es el plan brasileño, que comenzó en 1975, el más ambicioso de los que se han iniciado con el objetivo final de la sustitución total de la gasolina por alcohol obtenido de la caña de azúcar, el sorgo y la mandioca. En 1985 se espera alcanzar una producción de 10.700 millones de litros de alcohol que supondrá aproximadamente el 30% de la demanda de gasolina (10, 11). El programa del alcohol está fuertemente apoyado por el Gobierno brasileño mediante inversiones, reducción de impuesto y facilidades de crédito.

En 1979 Brasil tenía ya 2'2 millones de hectáreas dedicadas a plantaciones de caña de azúcar, y se estimaba que para poder alcanzar el objetivo de producción de alcohol fijado para 1985, se necesitaba plantar otros 2 millones de hectáreas.

En una primera fase del plan de sustitución de la gasolina por el alcohol se llevó a cabo utilizando gasolinas con el 10 o el 20% de etanol en los automóviles convencionales. Pero la industria del automóvil, después de ensayar prototipos de vehículos movidos únicamente por el alcohol puro ha sacado ya al mercado automóviles de este tipo fabricados en serie. En la Tabla 9 se presentan los objetivos, hasta 1985, de producción de automóviles que consumen únicamente alcohol, resultado de un plan coordinado de los fabricantes de automóviles y del Gobierno brasileño. Se espera que en 1985 se alcance un parque de automóviles nuevos y convertidos al nuevo carburante de 2'5 millones. Al mismo tiempo, el Gobierno mantiene impuestos altos para la

gasolina y restringe el dinero para financiar las compras de automóviles convencionales, y por el contrario, sigue una política de incentivos para favorecer la compra y el uso de los nuevos vehículos: bajo precio del alcohol (50 a 60% del precio de la gasolina), bajos impuestos de estos automóviles y facilidades de crédito para su compra.

Este ambicioso programa del alcohol supondrá unas inversiones directas en la producción de la caña y del alcohol de 8 a 10.000 millones de dólares durante el período de 1980-85, además de una cantidad adicional estimada en 4.000 millones de dólares en forma de créditos y subsidios a los inversores.

Las críticas de algunos economistas brasileños sobre este plan se basan en la contraposición combustibles-alimentos. Para poder atender la creciente demanda de alcohol como combustible es necesaria una elevada tasa de crecimiento de la superficie cultivable destinada a biomasa energética que parece muy difícil conseguir a partir de tierras nuevas, lo que puede dar como resultado el posible sacrificio de la producción de alimentos a favor de la caña de azúcar para la producción de alcohol. Los limitados recursos financieros no permitirán atender simultáneamente todas las necesidades del país.

Otra crítica al plan gubernamental brasileño, desde un punto de vista económico a corto plazo, es considerar el valor en el mercado internacional del azúcar, del alcohol y de la gasolina equivalente. Según Homen de Mello, profesor de la Universidad de Sao Paulo (11), la exportación de un millón de toneladas de azúcar durante 1981 a los precios actuales, que no se modificarían debido a la corta producción mundial de azúcar, daría un valor de 800 millones de dólares. El mismo azúcar convertido en alcohol y luego exportado a 60 dólares el barril tendría un valor de 600 millones de dólares. Pero este mismo volumen de alcohol, utilizado en el interior del país reemplazando a la gasolina, mediante las mezclas 20/80, tendría solamente un valor de 300 millones de dólares.

Los planificadores del Gobierno brasileño, por su parte, hacen ver que el programa del alcohol implica inversiones que se gastan enteramente en el interior del país, generando un significativo número de nuevos puestos de trabajo en el sector agrícola y sosteniendo el empleo en industrias en situación crucial, tales como la del automóvil y auxiliares. Gracias a este programa se está salvando la industria brasileña del automóvil con una producción de 1 millón de unidades año. Y además, Brasil está disminuyendo las compras de crudo, mejorando así su balanza de pagos y evitando su fuerte dependencia del exterior en el campo energético.

TABLA 9

PROGRAMA BRASILEÑO DE PRODUCCIÓN DE AUTOMÓVILES QUE UTILIZAN ÚNICAMENTE ALCOHOL.

ANO	Vehículos nuevos (en miles)	Vehículos convertidos	TOTAL (miles)
-----	--------------------------------	--------------------------	------------------

		(en miles)	
1980	250	80	330
1981	300	90	390
1982	350	100	450
1983	350	100	450
1984	350	100	450
1985	350	100	450
TOTAL	1.950	570	2.520

FUENTE: Ref. (11)

Son muchos los países que han iniciado un programa de desarrollo de las gasolinas alcohólicas, pero, salvo el ya comentado del Brasil, ninguno de los proyectos va a tener gran incidencia a corto plazo, e incluso medio, en la diversificación del abastecimiento energético. La reducción de la dependencia del petróleo se está llevando a cabo, generalmente, mediante el incremento simultáneo de la participación de todas las fuentes de energía factibles de desarrollo ahora (carbón, gas natural, energía nuclear, energía hidráulica), más bien que con la utilización de las nuevas fuentes de energía más caras y más difíciles de desarrollar al ritmo adecuado. El estudio de las perspectivas de suministro mundial de energía primaria, realizado por el IIASA y ya citado anteriormente (Tabla 8), muestra que el orden de mayor a menor participación en el balance energético, puede quedar establecido del siguiente modo, tanto en el año 2000 como en el 2030: carbón, energía nuclear, petróleo, gas natural, hidráulica, solar y otras fuentes de energía.

En España, el Plan Energético Nacional (PEN) (Tabla 10) prevé para 1990 una estructura del balance de energía con una participación muy alta del petróleo (48'4%), seguido por el carbón, la energía nuclear, la energía hidráulica, el gas natural y en último lugar las nuevas energías con solamente una participación de 1'4%. Hay una propuesta de revisión del PEN, pendiente de estudio por el Congreso de los Diputados en la que se introduce una notable baja sobre las previsiones de demanda de petróleo y de energía nuclear que será compensadas por un papel más activo del carbón, pero en cualquier caso no se altera el orden relativo al grado de participación de cada fuente de energía que se ha indicado anteriormente.

TABLA 10

PREVISIONES DEL PEN SOBRE LA ESTRUCTURA DE CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA

	1985		1987		1990	
	Mtec.	%	Mtec.	%	Mtec.	%
Hidráulica	13.3	9.2	13.8	8.7	14.9	8.1
Nuevas energías	0.5	0.4	2.0	1.3	2.5	1.4
Carbón	24.0	16.6	29.7	18.7	35.9	19.6
Petróleo	79.6	55.2	81.9	51.6	88.5	48.4
Gas	9.4	6.5	10.1	6.4	11.0	6.0

natural						
Nuclear	17.5	12.1	21.1	13.3	30.1	16.5
TOTALES	114.2	100.0	158.6	100.0	182.9	100.0

FUENTE: Ref. (2)

#### 4.- EL PROBLEMA DE LAS MATERIAS PRIMAS DE ORIGEN PETROLÍFERO.

##### 4.1.- *La industria química orgánica.*

El desarrollo de la industria química ha seguido una historia paralela a la evolución de las fuentes de energía, y no solamente porque la industria química dentro del sector industrial es uno de los mayores consumidores de energía primaria, sino también porque una parte sustancial de esa energía primaria la consume como material prima para conseguir sus productos transformados. En 1976, de los 1169 millones de teca que ascendió el consumo de energía en la Comunidad Europea, correspondió un 12 por ciento aproximadamente a la industria química, desglosado en un 7 por ciento como energía y un 5% como materia prima (12).

En todo lo que sigue se considera únicamente la materia prima que contiene carbono y por tanto se excluye el estudio de los diferentes recursos minerales que constituyen las materias primas fundamentales de la industria química inorgánica. Se podría decir que aquí únicamente se tratará de la materia prima base de la industria química orgánica, pero no es del todo correcta esta expresión puesto que un producto típicamente inorgánico, el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), base de los fertilizantes nitrogenados, se obtiene industrialmente, casi de un modo exclusivo, utilizando una materia prima carbonosa.

En el análisis de la evolución de la estructura de la demanda energética se ha indicado que tuvo lugar una sustitución gradual y parcial de unas fuentes de energía primaria por otras. Este mismo proceso, pero más acentuado, se observa en las materias primas orgánicas; a la secuencia de las fuentes de energía madera y residuos vegetales, carbón y petróleo le corresponde una utilización preferente de estas materias primas, en cada momento, dando lugar al desplazamiento de la quimurgia por la carboquímica, y ésta a su vez por la petrolquímica. El gran desarrollo actual de la industria química orgánica está basado casi exclusivamente en materias primas de origen petrolífero: el crudo y el gas natural

##### 4.1.1.- *Quimurgia*

Los primeros productos químicos de naturaleza orgánica se obtuvieron mediante el aprovechamiento industrial de materias primas agrícolas (quimurgia). El etanol obtenido por fermentación de disoluciones azucaradas, el metanol, el ácido acético y la acetona procedentes de la destilación seca de la madera, la glicerina resultante de la hidrólisis de las grasas, los colorantes

naturales utilizados en la primitiva industria textil y los taninos empleados en la curtición de las pieles, son algunos de los ejemplos más conocidos de productos químicos orgánicos de origen natural que han sido desplazados en su utilización, bien por estos mismos productos obtenidos por síntesis a partir del carbón y del petróleo, o bien por otros productos sintéticos de naturaleza semejante y, a veces, con propiedades y características más acordes con el fin a que se destinan.

El término “quimurgia” para designar esta parte de la química industrial se introdujo en la campaña promovida por un grupo de industriales, agricultores y economistas de EE.UU., en la década de 1930, con el fin de encontrar nuevas aplicaciones a los excedentes agrícolas. Se esperaba que la “quimurgia”, la “química en acción”, facilitaría la expansión de los mercados agrícolas para salvar el campo de la crisis en que se debatía. Un resultado de esta campaña fue la inclusión en la “Agricultural Adjustment Act de 1938” de la fundación de laboratorios de investigación en las cuatro principales regiones agrícolas de EE.UU. “para realizar investigaciones encaminadas al desarrollo de nuevas aplicaciones científicas, químicas y técnicas, así como nuevos y más amplios mercados y vías de salida de artículos y productos agrícolas y sus subproductos. Tal investigación y desarrollo se dedicará principalmente a aquellos productos agrícolas en que hay excedentes regulares o periódicos”. Los cuatro laboratorios creados fueron el “Nothem regional Research Laboratory” en Peoria (Illinois) dedicado al estudio de cereales, semillas oleaginosas de la región y residuos agrícolas; el “Southem Laboratory” en Nueva Orleans (Luisiana), dedicado fundamentalmente al algodón; el “Eastern Laboratory” en Filadelfia (Pensilvania), interesado en productos de la leche y en el tabaco y el “Western Laboratory” en Albany (California), centrado en las investigaciones sobre frutas y hortalizas.

En los momentos actuales, ante la previsible escasez de petróleo y la creciente subida del precio de esta materia prima, se ha renovado el interés por la transformación de materias primas renovables como punto de partida para la síntesis de productos orgánicos. La bioconversión de biomasa, además de posible fuente de energía, se puede considerar como suministradora de materias primas. Ya se ha citado anteriormente el plan brasileño tendente a la sustitución total de la gasolina por alcohol obtenido en la caña de azúcar. Este es un ejemplo de utilización energética del etanol agrícola; pero, a su vez, este etanol puede ser un producto químico de partida para síntesis y obtención de numerosos productos químicos finales, jugando un papel equivalente al que desempeña actualmente el etileno, producto petrolquímico de base. La interconversión etanol-etileno es un problema técnico bien resuelto y la realización práctica en uno u otro sentido es únicamente una cuestión económica condicionada fundamentalmente por la disponibilidad y precio de una u otra materia prima.

#### 4.1.2. – *Carboquímica.*

La etapa de la gran industria de química orgánica basada en el carbón como materia prima se inició con la instalación en Inglaterra de la primera

fábrica de colorantes sintéticos para la industria textil, se desarrolló en Europa alcanzado su máxima prosperidad en Alemania desde 1914 a 1940, y declinó su actividad después de la Segunda Guerra Mundial ante el empuje de la petrolquímica.

La carboquímica, mediante la síntesis de cerca de tres mil compuestos derivados del carbón, pudo atender el suministro de los productos químicos necesarios en los diversos campos de aplicación: perfumes, colorantes, disolventes, pinturas, medicamentos, explosivos, fertilizantes nitrogenados, plásticos, fibras sintéticas, etc.

Con el fin de mostrar la síntesis o formación de los diversos productos químicos derivados del carbón, la carboquímica se suele representar esquemáticamente como un árbol frondoso, cuyo tronco parte del carbón. En la Figura 2 se presenta un esquema muy simplificado de la utilización química del carbón.

Hasta 1914, la gran industria química orgánica había contado solamente, como materia base, con el alquitrán de coquización de la hulla. Este alquitrán da lugar principalmente a fenoles e hidrocarburos aromáticos sobre los que se levantó la industria de colorantes y productos farmacéuticos.

La industria orgánica aromática había iniciado su desarrollo en el siglo pasado, pero hubo que esperar hasta la primera guerra mundial para que, a través del acetileno, se desarrollase la industria química orgánica alifática. El coque de hulla tratado con cal en el horno eléctrico se transforma en carburo, del cual resulta luego el acetileno. La fabricación de acetaldehído por adición de agua al acetileno, y la oxidación catalítica del primero para dar lugar al ácido acético son ejemplos representativos de los primeros procesos químicos de la industria química del acetileno, y que fueron seguidos por muchos otros del más alto valor industrial. Los trabajadores de W. Reppe, en la antigua "I. G. Farbenindustrie AG" en Ludwigshafen, abrieron nuevos caminos en la química del acetileno con la vinilación, etinilación, carbonización y ciclación. Son numerosos los productos intermedios y finales obtenidos sintéticamente a partir del acetileno: disolventes, plastificantes, monómeros para la fabricación de materiales plásticos, caucho sintético, seda artificial, etc.



Farbenindustrie AG” hacia 1940. Los hidrocarburos saturados obtenidos por este procedimiento fueron utilizados por los alemanes en la Segunda Guerra Mundial como fuente de gasolina.

#### 4.1.3.- *Petroquímica*

La carboquímica se inició en Europa, alcanzando su máximo desarrollo en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial. En Estados Unidos la carboquímica tuvo una importancia menor que en Europa debido a la utilización de sus grandes disponibilidades de petróleo como materia prima carbonosa; las primeras síntesis petrolquímicas en escala industrial datan del año 1922, al iniciarse la fabricación del alcohol isopropílico y acetona a partir del propano procedente de la destilación del petróleo. El desarrollo de la petrolquímica tomó un gran impulso con la entrada de Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial al principio de la década de los 40. En la posguerra se inicia en Europa una progresiva sustitución de la carboquímica por la petrolquímica, pudiéndose afirmar que la gran variedad y cantidad de productos químicos orgánicos fabricados actualmente se obtienen del gas natural, de los gases licuados del petróleo o de la nafta. Sólo la producción de compuestos aromáticos de varios anillos, naftaleno y antraceno, sigue basada en el carbón.

Las materias primas de la industria petrolquímica son el gas natural y el crudo de petróleo. En las refinerías el crudo de petróleo se somete fundamentalmente a un fraccionamiento en unidades de destilación atmosféricas o de vacío, con el fin de obtener los productos o fracciones que demanda el mercado (G. L. P., gasolinas, gasóleo, etc.). Desde el punto de vista del suministro de materia prima a la industria química la fracción más importante de la destilación del crudo es la nafta, destilado de volatilidad media (intervalo de puntos de ebullición 150-250° C) que incluye componentes utilizados para formular gasolinas y los grados más ligeros de gasóleos. Normalmente, la producción de gasolina que puede obtenerse de un crudo por destilación no puede atender a la demanda del mercado, existiendo, por otra parte, un excedente de productos más pesados. La solución para este desequilibrio está en el craqueo de las fracciones más pesadas para convertirlas en productos más ligeros con la volatilidad de la gasolina. En este proceso de craqueo también se forma una cierta proporción de gases, que presentan una composición muy diferente a la de los gases obtenidos en la destilación del crudo: los gases de craqueo son ricos en olefinas y los de destilación son hidrocarburos saturados. El gas natural, los gases de refinería (saturados y de craqueo) y las naftas son los productos primarios para la industria petrolquímica.

La gran variedad de productos finales petrolquímicos hace muy difícil resumir todos los procesos químicos implicados en la transformación de las materias primas hasta llegar a los productos elaborados deseados. Pero sí se puede considerar que existe una industria petrolquímica de base que en la elaboración de las materias primas obtiene unos pocos productos petrolquímicos de base (gas de síntesis, etileno, propileno, butadieno y benceno), paso obligado para llegar a lo múltiples productos intermedios y finales (Figura 3).



Se puede establecer una cierta correspondencia entre los productos químicos de base obtenidos a partir del petróleo con los procedentes del carbón. El gas de síntesis petrolquímico se obtiene por oxidación regulada de los hidrocarburos mediante oxígeno y/o vapor de agua, y equivale al “gas de síntesis” obtenido por gasificación del carbón. El acetileno de la carboquímica, con su gran reactividad química y versatilidad para dar cualquier producto químico de la orgánica alifática, es sustituido perfectamente por la olefinas petrolquímicas (etileno, propileno y butadieno) obtenidas por craqueo. Y por último, por reformado catalítico de la nafta se puede incrementar la proporción de hidrocarburos aromáticos y separar posteriormente por destilación el benceno, tolueno y xileno (BTX). En este caso, la petrolquímica no sustituye completamente a la carboquímica pues los compuestos aromáticos de varios anillos, necesarios para la síntesis de determinados colorantes y productos farmacéuticos, tienen que ser obtenidos del alquitrán procedente de la destilación de la hulla.

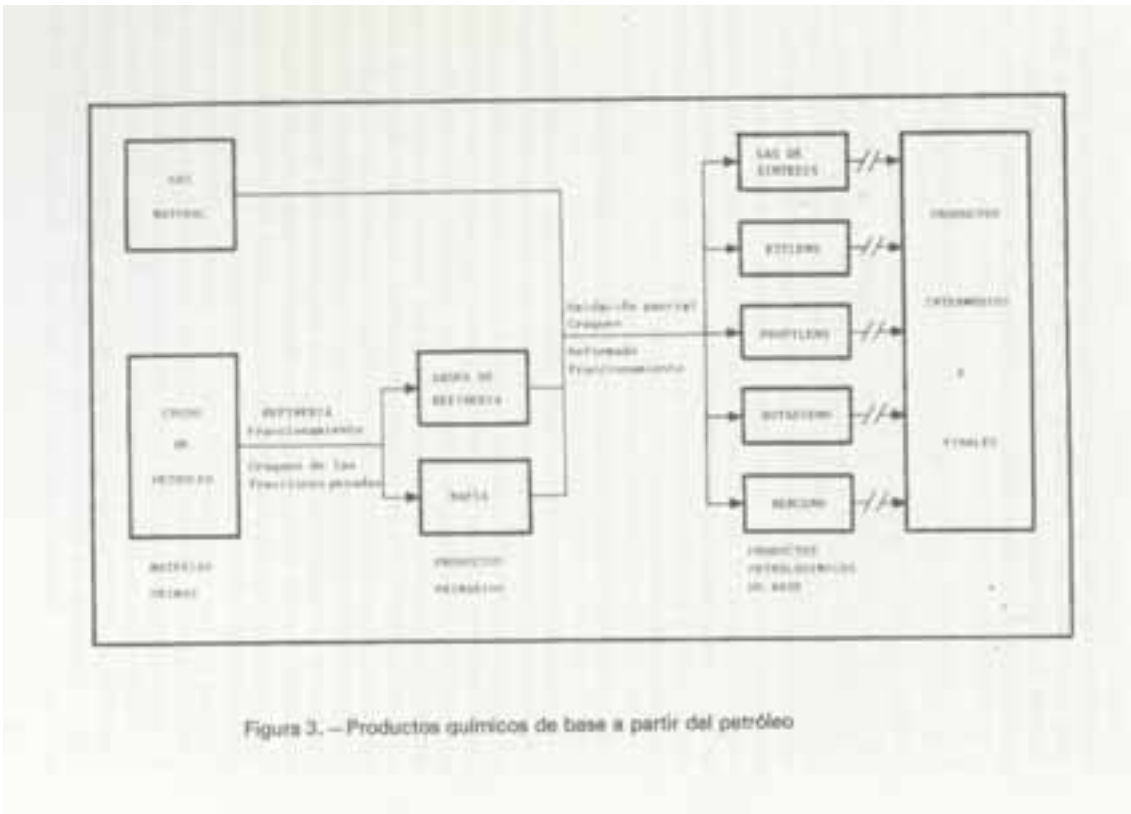


Figura 3. — Productos químicos de base a partir del petróleo

#### *4.2 – Efecto de la crisis energética en la industria petrolquímica.*

El primer efecto de la crisis energética sobre la industria petrolquímica ha sido el encarecimiento de su materia prima y productos derivados como consecuencia de los aumentos bruscos del precio del petróleo. Por otro lado, el establecimiento por parte de los países de la OPEP de limitaciones cuantitativas al suministro de crudo, durante los primeros años de esta crisis, extendió un sentimiento de escasez y racionamiento a corto plazo, y un temor al agotamiento futuro de esta materia prima, iniciándose como respuesta la búsqueda de otras materias primas alternativas, como muestra el renovado interés que ha adquirido la investigación de los procesos carboquímicos.

##### *4.2.1- Aumento de los precios de los productos petrolquímicos.*

Los aspectos económicos de la crisis actual de materias primas de origen petrolífero fueron estudiados en una de las conferencias pronunciadas en la VII Convención Nacional de la Industria Química celebrada en Sevilla en octubre de 1980 (13) y de la cual se incluyen aquí algunos puntos. Con respecto a la influencia del aumento del coste del crudo sobre los productos químicos derivados del mismo, se ha estimado que un aumento del 100% en el precio del petróleo supone un 30% de incremento de coste en los productos petrolquímicos de base, un 20% en los monómeros para fibras, un 13% en las fibras sintéticas y un 7% en los productos de caucho. Sin embargo, la competitividad de los productos químicos no se ha afectado excesivamente a lo largo de una crisis en la que el petróleo ha aumentado su precio más de un 1000%. Ello se debe a varios factores, entre los cuales merece destacar los siguientes: la competitividad de los materiales derivados del petróleo depende en muchos casos de su coste por unidad de volumen y expresado en estos términos, la influencia del aumento del coste energético es muy favorable. En efecto, mientras las poliolefinas requieren de 1,3 a 2 tec por m<sub>3</sub> de material, el acero requiere 8, el cobre 11 y el aluminio 15. Por ello, estos materiales siguen aumentando su participación en los usos finales de automoción, construcción, electrodomésticos, etc. Asimismo, la posibilidad de sustitución de los derivados del petróleo por productos naturales, como sucede en el caucho y en las fibras, está limitada por la disponibilidad de las fuentes de producción. Al no ser posible incrementar sustancialmente en poco tiempo el cultivo o la producción de caucho natural, algodón, lana, etc., el resultado ha sido la elevación de los precios de estos productos para adaptarse a los del petróleo, sin que apenas haya habido aumento de su participación en el consumo final.

Estos motivos explican porqué, por ejemplo, los plásticos sustituyen a los metales en los automóviles. Actualmente un coche en EE. UU. utiliza unos 90 kgs. de plástico, y se estima que esta cifra subirá a 150 kgs. en 1985, y a más de 200 kgs. en 1990, de forma que, del total de materiales de un automóvil, el plástico pasará del 6% en peso al 20%. Ello permitirá reducir el peso total en un 25% y, en consecuencia, el consumo de carburante.

##### *4.2.2.- Modificación de la competitividad de los procesos*

Las industrias de proceso químico están frecuentemente expuestas a tener que afrontar grandes y rápidos cambios tecnológicos como consecuencia de la disponibilidad de nuevos materiales, nuevos procesos y de cambios económicos que alteran las ventajas de diferentes tecnologías o procesos alternativos. Este es el caso de la crisis energética, que ha modificado el nivel relativo de precios de las materias primas petrolquímicas. Así, por ejemplo: los precios, antes de la crisis, de la nafta y del gas natural eran tan análogos, que la fabricación de amoníaco y metanol se hacía indistintamente a partir de una u otra materia prima. Sin embargo, el mayor crecimiento de los precios de la nafta respecto del gas ha dejado fuera de competencia al reformado de nafta. Puesto que los productos o materiales que compiten en el mercado para un mismo uso, suelen tener distinta participación energética en su coste, se ha dado el caso de que el aumento del precio de la energía ha inclinado la balanza de la competitividad hacia el de menor requerimiento energético. Y en otros productos en los que el coste energético es análogo, una innovación de ahorro de energía en el proceso de fabricación de uno de ellos, le ha conferido significativas ventajas de costo.

El caso del amoníaco en España resulta muy ilustrativo de los efectos económicos de la crisis del petróleo. Antes de 1973 el amoníaco se fabricaba a partir de nafta y gas natural por reformado catalítico o de residuos de petróleo por oxidación parcial. Todas estas materias primas competían y las diferencias de coste, en cualquier caso pequeñas, se obviaban por la poca influencia que la materia prima ejercía en comparación con otros costes de inversión, mano de obra y transporte, de forma que condicionaba más la disponibilidad de materias primas que su precio.

Uno de los efectos de la crisis ha sido la elevación de los precios del petróleo y particularmente de la nafta, a ritmo mucho más fuerte que el del gas natural, por lo que ha dejado absolutamente fuera de competencia a las naftas. Muy recientemente está apareciendo otro fenómeno que es la valoración del gas natural a pie de pozo por el país productor a precio muy distinto al de mercado del país desarrollado (gas licuado transportado o pipe-line). El resultado de esta tendencia puede ser la concentración de las plantas de amoníaco en los países productores cuya alternativa es quemar el gas en antorchas o bombearlo al pozo.

En 1980 se llegó en España a la situación de que la cotización internacional del amoníaco es inferior al coste de la nafta que se consume en su fabricación. Además la escasez de nafta de las refinerías españolas compromete seriamente el abastecimiento de amoníaco fabricado por plantas españolas. Siendo los costes variables de producción de amoníaco superiores al coste de importación, la decisión técnicamente correcta, a primera vista, sería parar las plantas e importar amoníaco. Ello no es aconsejable ni posible, por no existir terminales ni medios de transporte para más de 30-35% del consumo, por implicar, necesariamente, la parada de las plantas de urea, con un valor añadido importante, por constituir un riesgo muy significativo la dependencia del suministro exterior en cantidades tan relevantes y por suponer un problema social y psicológico importante la parada de 12 fábricas de amoníaco y urea.

La importación de fertilizantes simples nitrogenados, tendría menos dificultades logísticas, pero sí los demás inconvenientes citados. Se estima, además, que la compra de cantidades tan grandes alteraría los precios de adquisición. Por otra parte, ya no resultaría cierto que los costes de importación de abonos sean inferiores a los costes variables de su producción, sino que existe un "cash-flow" o valor añadido positivo neto para el país, por lo que, en principio, con arreglo a criterios económicos, no deben pararse las plantas de fertilizantes.

La alternativa adoptada frente a este problema, a medio plazo, es un conjunto de medidas que en resumen son:

- a) Reconversión de plantas de nafta a gas natural en los yacimientos recientemente descubiertos o de gas importado. Este proceso puede tardar el tiempo de tres años estimado en poner en servicio los nuevos yacimientos o llevar el gas importado al centro consumidor. De esta forma se puede adaptar del 30 al 50% de la producción.
- b) Reconversión de plantas anexas a refinerías para utilizar residuos pesados del refino por oxidación parcial. Por este sistema se puede reconvertir del 20 al 30% de la producción. También se requieren tres años para esta reconversión.
- c) Importación de déficit de amoníaco (del 20 al 40% del consumo), mediante contratos importantes con países productores a pie de pozo, y construcción de nuevas terminales en España para su importación.

Estas medidas pueden permitir eliminar la deficiencia estructural, que hace que la industria española del amoníaco no sea competitiva, lo que ha llevado en el ejercicio presupuestario de 1980 a una subvención de 8.700 millones de pesetas. No se produce una ruptura del actual sistema de producción en el que se explotan 35 fábricas con 12.000 trabajadores que fabrican por valor de 80.000 millones anuales, ni se producen alteraciones o riesgos de desabastecimiento a la agricultura.

El dinamismo tecnológico de la industria petrolquímica ha dado lugar al desarrollo de una gran variedad de procesos para la producción de un mismo producto, lo que permite la utilización como materia prima, en función de su disponibilidad y precio y de la exigencia de mercado, de una amplia gama de fracciones petrolíferas. En el caso particular de la industria petrolquímica española, por estar basada en una estructura del consumo de materias primas poco diversificada y excesivamente dependiente de la nafta, se ha visto muy afectada por la crisis energética. Así, por ejemplo, si en España en 1979 el 82% del amoníaco se fabricaba a partir de la nafta, en Estados Unidos, por el contrario, el 95% del amoníaco se fabricaba vía gas natural, y en Europa también el gas natural participaba con el 70% (14). Con respecto a la fabricación de etileno, los Estados Unidos muestran una distribución del consumo de materias primas (31% nafta, 14% G.L.P. y 53% de etano) más racional, por diversificada, que la correspondiente a otros países, como

consecuencia de disponer de abundantes yacimientos de gas natural. Por el contrario, tanto Europa como Japón utilizan fundamentalmente nafta, lo que implica una excesiva dependencia de una única materia prima. En 1979, España fabricaba el 100% de etileno a partir de nafta.

#### 4.2.3. – *Efecto sobre el mercado petrolquímico internacional.*

Otro efecto de la crisis energética sobre la industria petrolquímica europea es su falta de competitividad frente a la de Estados Unidos, debido a que éstos disponen de materias primas más baratas, como consecuencia del control americano del precio del petróleo y gas natural de producción propia.

El Gobierno americano ha establecido un sistema de control de precios del petróleo por el que, a lo largo de toda la crisis, desde 1973, el precio de esta materia prima energética, viene siendo mucho más bajo para los consumidores americanos, que lo es el petróleo en el mercado libre para el resto del mundo.

Así por ejemplo: en 1979, cuando el petróleo se vendía en el mercado libre a 18 dólares/barril, en Estados Unidos el Gobierno había fijado el precio en 6 dólares/barril para todos los campos petrolíferos descubiertos antes de 1973 (1/3 del consumo); en 13 dólares/barril a los descubiertos después de la crisis (otro tercio); y el resto se adquiría del mercado exterior, y de Alaska, al precio internacional de 18 dólares/barril. El resultado es un precio medio ponderado de 12 dólares/barril, con una ventaja de 6 dólares/barril, es decir, un 30% más barato que para el resto del mundo. Los refinadores americanos pagan el precio medio gracias al sistema de compensación establecido por el Gobierno y esta ventaja del 30 por ciento se distribuye sobre todos los productos del refino, lo que significa menor coste de la energía como fuel o electricidad, y de las materias primas petrolquímicas.

Un proceso de resultados análogos es el que regula el gas natural, cuyo precio es sensiblemente inferior al de la termia en el mercado libre. Como consecuencia, los productos americanos, que ya gozaban de unas ventajas de costes debidas a una mejor estructura productiva y tecnológica, pueden conseguir precios mucho más bajos. Para dar una idea cuantitativa de esta alteración de los precios, basta indicar que en 1979 los precios americanos de los productos petrolquímicos (olefinas y aromáticos), eran un 30-60% más baratos que los europeos. En cifras absolutas, la diferencia era de 100 a 300 dólares/t. (7-21 pesetas/kg.), lo que permitía no solo cubrir el transporte a través del Atlántico, sino obtener un margen sustancioso de beneficio. Mientras el mercado interior americano ha consumido su producción química, este problema apenas ha incidido en el resto del mundo industrializado. Sin embargo, la recesión productiva en 1979 en EE.UU. ha motivado unos fuertes excedentes que, en virtud de sus menores costes, han podido exportarse a Europa, incidiendo en la ya deteriorada industria europea, que sufre los mismos problemas de falta de mercado que la americana. El resultado ha sido que los europeos han acusado a EE.UU. de practicar una nueva forma de “dumping”, ya que si se les diera opción, los productores americanos de petróleo venderían su producto en el mercado libre al mismo precio de la OPEP, antes

que venderlo a los precios controlados del mercado interior. Menos sentido tiene aún para Europa el hecho de que EE.UU. importe gas y nafta a precios internacionales, mientras exporta productos a precios basados en materias primas valoradas a precio inferior. Todo ello ha motivado un plan de Gobierno americano para suprimir el control de precios, que debería quedar eliminado el 30 de septiembre de 1981. Sin embargo, la cadencia de esta supresión es discrecional para el Presidente americano y, entretanto, Europa sigue sufriendo una invasión de productos USA a nivel de petrolquímica básica, intermedios, fibras, etc.

#### 4.2.4.- *Modificaciones tecnológicas de la estructura de refino.*

Se puede considerar como otro efecto de la crisis energética los proyectos en marcha para introducir modificaciones tecnológicas en las refinerías españolas, con el fin de dotarlas de un esquema de proceso orientado a la conversión de fracciones pesadas (fueloil) en ligeras (naftas y gasolinas). Se pretende de este modo adecuar la oferta de productos petrolíferos a la demanda, ya que la crisis energética está modificando el equilibrio oferta-demanda anteriormente existente. En la evolución del consumo total de productos petrolíferos se observa claramente, como nota dominante, el incremento de los productos ligeros (gasolina, gasóleo, nafta), al mismo tiempo que disminuye la participación del fueloil. Estas tendencias del consumo pueden ser explicadas del modo siguiente:

Los planes de ahorro y sustitución del petróleo, ante el aumento de precio de éste, son más fáciles de llevar a cabo en los usos puramente energéticos que en los usos como carburante líquido o materia prima química, hoy por hoy insustituibles. La sustitución de fueloil por carbón en centrales térmicas, fábricas de cemento y otros grandes consumos industriales conduce a una moderación del consumo de fueloil.

Por otra parte, los crudos pesados (densos) tienden a aumentar su participación en nuestro aprovisionamiento, lo cual produciría un creciente desequilibrio oferta-demanda con el "esquema de proceso horizontal" de las actuales refinerías españolas, que están constituidas básicamente por unidades de destilación atmosférica o de vacío, que separan el crudo en sus distintas fracciones de menor a mayor densidad. Con esta configuración, las diferentes fracciones obtenidas se tratan para mejorar su calidad (reformado catalítico para aumentar el índice de octano de las gasolinas y desulfuración de destilados medios), pero no se transforman unas fracciones en otras; siguen un recorrido horizontal en el esquema de proceso.

La adecuación oferta-demanda se puede conseguir modificando la estructura de refino introduciendo unidades que conviertan el fuel excedentario en productos ligeros; refinerías de "esquema vertical". Con esta configuración, algunas corrientes obtenidas por destilación del crudo, específicamente las de alta densidad, son descompuestas, mediante procedimientos físico-químicos, en producto más ligeros y valiosos (gasolinas, nafta) y en residuos casi sólidos (asfalto y coque).

La conversión de la fracción intermedia en componentes más ligeros, se realiza básicamente en la actualidad en dos tipos de unidades: las de Craqueo Catalítico en Lecho Fluidizado ("Fluid Catalytic Cracking: FCC") y las de Craqueo Catalítico en presencia de Hidrógeno ("Hydrocracking"). Ambas unidades son de gran versatilidad y flexibilidad, estando, quizás, más orientada la primera a la producción de gasolina y la segunda a la de destilados medios.

La fracción más pesada puede tratarse, a costos razonables, de dos maneras: convirtiendo los asfaltenos en productos líquidos ("L-C Finning") o gaseosos ("Flexicoking") o lo que suele ser más frecuente, concentrar dichos asfaltenos en un producto utilizable o vendible, por craqueo térmico: (Unidades de Coquización Retardada: "Delayed Coking" o Unidades Reductoras de Viscosidad; "Visbreaking").

Algunas de estas unidades ya han sido introducidas en los esquemas españoles de refino. En la actualidad están en funcionamiento una Unidad de "Hydrocracking" de Enpetrol, en Tarragona, y una de "Visbreaking" de Petrolíber, en La Coruña. En esta última refinería y con una orientación ya definida hacia "una estructura de proceso vertical", se encuentra en avanzado estado de construcción un FCC. Además de estas instalaciones están en fase de proyecto otras unidades de conversión: en 1984 se espera contar en las refinerías españolas con siete FCC con una capacidad nominal de 7.825.000 t/año (15).

#### *4.3- Sustitución del petróleo y del gas natural como materias primas.*

La situación actual de la industria química orgánica con un nivel de producción más de diez veces superior al que tenía en la mejor época de la carboquímica, está fuertemente condicionada a las materias primas de origen petrolífero. El petróleo y el gas natural constituyen el 95% de la materia prima en que se basa la síntesis de los productos químicos orgánicos. Este desarrollo ha sido posible solamente porque se disponía en cantidades suficiente, y muchas veces como excedentes de bajo precio, de gas natural y nafta, dos materias primas que ofrecen grandes ventajas en su transformación.

A pesar del progresivo encarecimiento del petróleo, en los años próximos no será posible sustituir el petróleo y el gas natural como materias primas. La vuelta al carbón no será de ningún modo tan fácil como el paso del carbón al petróleo hace solamente treinta años. Ello puede decirse, tanto en lo que se refiere a la tecnología de los procesos que tendría que adaptarse a las circunstancias económicas y exigencias ecológicas del momento actual, como también con respecto al extraordinario incremento que se ha producido entretanto en la demanda de productos químicos orgánicos básicos.

En los próximos años la línea de actuación se centrará fundamentalmente en la utilización más eficiente del petróleo crudo como material de partida. El tema de la posible escasez de petróleo no preocupa excesivamente a la industria petrolquímica, puesto que el consumo de petróleo y gas natural como materia prima supone solamente un porcentaje del orden de 6-8% del total, poniendo de manifiesto el uso irracional que se viene

haciendo actualmente del mismo. Las centrales térmicas, las fábricas de cementos y otras industrias consumidoras de energía, la calefacción doméstica y los motores de combustión consumen el 94-92% restante. Los hidrocarburos son un material muy valioso, que actualmente se utilizan preferentemente con fines energéticos y no en sus aplicaciones más nobles como en la fabricación de productos petrolquímicos. Por esta razón, debería aprovecharse cualquier posibilidad de reservar en el futuro, para la industria química de transformación, proporciones mayores de petróleo. Ello sólo será posible si para la producción de energía se recurre en grado creciente al carbón y otras fuentes alternativas de energía.

Con el fin de utilizar más eficientemente el petróleo y conseguir una mayor duración de esta materia prima, se debe reducir el uso del fueloil como combustible, y transformar éste y otras fracciones pesadas en nafta mediante las adecuadas unidades de conversión (FCC, por ejemplo). Y esta nafta se empleará selectivamente en los procesos químicos en los que resulte más imprescindibles, y por el contrario, en otros procesos se tenderá a la utilización de otra materia prima menos valiosa. Por ejemplo, en la fabricación de gas de síntesis la nafta debe ser sustituida por gas natural o aceites pesados, un proceso de cambio que ya se realiza en parte. Y un paso adelante en el camino de prolongar la utilización química del petróleo sería obtener el gas de síntesis exclusivamente a partir del carbón. La fabricación de amoníaco y metanol por esta vía es por donde se puede regresar fácilmente a la carboquímica.

En el apartado 3.2 se ha estimado en 27 años el plazo para el agotamiento de las reservas actuales de petróleo si el consumo se mantiene al nivel actual. Es evidente, aun teniendo en cuenta el valor relativo de este plazo, que el petróleo deberá ser sustituido en algún momento por otra materia prima, probándose el carbón, a pesar de que actualmente, y también a corto plazo, esta sustitución no es posible por las razones apuntadas anteriormente. En consecuencia, en los próximos años deberá hacerse un gran esfuerzo investigador en el campo de la química del carbón, con el fin de desarrollar las nuevas tecnologías que serán necesarias para ir sustituyendo gradualmente a los procesos químicos actuales basados en petróleo. Después de una fase de transición, que puede durar veinte o treinta años, llegará un momento en el que los procesos renovados de la carboquímica contribuirán de un modo muy importante a satisfacer la creciente demanda de productos orgánicos.

Tanto en Estados Unidos, como en Europa Occidental, se están montando plantas piloto de hidrogenación y gasificación del carbón con el fin de poner al día estas tecnologías ya conocidas de la carboquímica. Una de las condiciones que deben cumplir estas nuevas instalaciones es ajustarse a las exigencias medioambientales actuales, problema muy importante en los procesos de manipulación y transformación del carbón. La extracción de carbones con disolventes es un proceso conocido desde los años 20 que está recibiendo nueva atención en Estados Unidos. El proyecto SRC-I (Solvent Refined Coal) va dirigido casi exclusivamente a la obtención de un extracto de carbón para su utilización como combustible líquido en las centrales térmicas. En el proceso SRC-II, más reciente, se lleva a cabo la hidrogenación en solución y se obtiene, además del fueloil GLP y nafta.



Igualmente, aunque de un modo más lento, también se desarrollan procesos basados en materias primas orgánicas renovables (biomasa). Desde hace tiempo muchos productos se han obtenido de la madera por métodos diferentes, térmicos o bioquímicos. La pirólisis de la madera da lugar a metanol, acetato de estilo, metiletilcetona, aceite de creosota, alquitranes, etc. La hidrólisis ácida de la celulosa de la madera y la posterior fermentación de las soluciones de monosacáridos resultantes da lugar a etanol. La biomasa, por su constitución química, es una fuente potencial de productos químicos; obviamente, la investigación en este campo puede poner al descubierto muchas rutas diferentes para aprovechar tanto el alto contenido de polisacáridos de la biomasa como los compuestos químicos más complejos y específicos de determinadas plantas vegetales.

En cierto sentido, la crisis del petróleo, los avisos de 1973 y 1979, puede considerarse como un aldabonazo útil en la conciencia colectiva del mundo que induzca, a pesar de que se dispone de grandes cantidades de petróleo y gas natural, a iniciar una intensa labor de investigación en búsqueda de los distintos procedimientos de sustitución y mejor aprovechamiento de nuestras fuentes energéticas y de materias primas, un hecho que, sin los mencionados avisos, no hubiera tenido lugar hasta muchos años más tarde. Gracias a la investigación y desarrollo de nuevos procesos, probablemente el petróleo no se agote tan pronto como actualmente se prevé, y se siga utilizando de un modo coordinado con el carbón y las materias primas orgánicas renovables.

He dicho.