

Excmo. Sr. Director :

Excmos. Sres. Académicos :

Señoras, señores :

INTRODUCCIÓN

La historia de la Humanidad está jalonada por la concentración de energía que se ha sabido manejar. En efecto, entre el consumo anual energético *per capita* y el producto nacional bruto *per capita* hay una relación creciente y aproximadamente lineal. La conquista de la energía es, pues, la gloria del hombre o, a lo peor, quizá, nada más que la vanagloria.

El hombre primitivo no debió utilizar más energía que la de sus propios músculos; después, rudimentaria y limitadamente, la producida por el trabajo de las bestias, la del flujo de las aguas y la del soplo del viento. Y desde siempre y hasta ahora, de manera directa e indirecta, la del Sol. *última ratio* de las energías aprovechadas hasta que hace treinta años se logró liberar y controlar la de origen nuclear, primera que no proviene del Sol, aunque semejante a ella.

La historia moderna empieza realmente cuando se logra la transformación y la concentración de la energía, cuando se descubre—o se inventa— la electricidad, que puede producirse por la rotación de los devanados de dinamos o alternadores impulsados por el peso del agua, o por el chorro de vapor producido a su vez al liberar, por combustión, la energía química de las materias combustibles.

Se calcula que un hombre, trabajando trescientos días al año y de continuo ocho horas cada día, puede rendir un trabajo físico que se evalúa en unos 180 kilovatios-hora, menos que gastaría la lámpara de mesa que alumbrará el trabajo de un ajetreado estudiante de nuestros días medianamente aplicado.

Dado que la producción eléctrica española es de unos 60.000 millones de kilovatios-hora, resulta que cada español, hombre o mujer, niño o anciano, vigoroso o tullido, viene a disponer, sólo por vía eléctrica, como promedio, de un trabajo equivalente al que podrían

hacerle 10 hombres. Una familia con 5 miembros, tiene a su disposición, insensiblemente, unos 50 esclavos electromecánicos que actuarán con absoluta sumisión, y que, sin alborotos, le cocerán los alimentos, le lavarán la vajilla y la ropa, le iluminarán la casa y la ciudad, le transportarán en tren eléctrico si salen de viaje... ; y, todavía, si esa familia dispone de un automóvil de tamaño medio, tiene en el garage una reserva silenciosa de unas decenas más de esclavos mecánicos dispuestos a trasladarla, con sólo un ligero zumbido, a una velocidad que jamás podría alcanzar el equivalente pelotón esclavo de carne y hueso. Porque el motor humano es tan deficiente que hacen falta 7 individuos —que pesarían media tonelada— para juntar la potencia de 1 CV.

Para acabar con esta intrascendente especulación, permítaseme insistir, añadiendo el curioso dato de la astronómica diferencia de precio entre la caloría-alimento que necesita el motor humano y la caloría-gasolina con que se conforma el automóvil, o la caloría-carbón que mueve el alternador. Una caloría-carne es casi 1.000 veces más cara que una caloría-gasolina, y ésta, unas 10 veces más cara que la del carbón, a los precios actuales.

Estas pintorescas palabras introductorias, señores académicos, no han tenido más pretensiones que llevar vuestra atención, por vía de anécdota, a la conciencia del significado profundo que tiene la presente crisis de la energía; crisis que, como es sabido y explicable, arranca del brusco encarecimiento de la materia prima energética más ampliamente utilizada por el hombre de hoy, el petróleo. Con ello, al venirse abajo una estructura de consumo energética basada en la baratura del petróleo, y al representar la energía la base física de nuestra civilización, nada tiene de raro que se hayan conmovido los cimientos del bienestar, que se resquebrajen las políticas nacionales e internacionales, que se disparen los precios, que galope la inflación y que se busque por todos, con ansiedad y estupor, un replanteo total del problema que afecta a las formas de vivir y de convivir.

Pero es que el petróleo, además de ser el rey en el campo de la energía, ha llegado a constituirse *también* en la materia prima clave de la industria química inorgánica y orgánica, y dada la influencia de esta industria en la Agricultura, la Sanidad, el vestido, la vivienda, etc., etc., nos aparece un nuevo mecanismo, muy complejo, por el que las consecuencias finales de la crisis petrolera no resultan fáciles de prever todavía.

De ahí que al indicarme nuestro querido Presidente que me hiciera cargo de la lección inaugural del curso 74-75, pensé que, dada la circunstancia, ningún tema de los que yo podría abordar presentaría mejor que éste la doble condición de informar e instruir —en la escasa medida de mis limitaciones—, pues en él se da la doble condición de ser tema de palpitante importancia actual y estar conformado dentro del mismo orden de ideas que fueron el argumento de mi discurs-

so de ingreso en esta querida Academia, en el que, como quizá recordéis los más veteranos, di rienda suelta a mi preocupación de entonces por la dotación de materias primas industriales para nuestra incipiente industria orgánica de los años cuarenta.

No es de extrañar, pues, que vuelva ahora (¡treinta años después!) sobre el mismo tema de fondo, pero visto a la luz del momento y la circunstancia de estos azarosos días de hoy, en los que el ahorro de energía, la búsqueda de nuevos recursos energéticos, la economía de sustitución del petróleo y el replanteo de la estrategia de las materias primas y de la energía forman un cuadro de graves incertidumbres y fragilidades, en especial para los países europeos y en particular para aquellos, como el nuestro, que andan a medio camino en su desarrollo.

Antes de entrar en materia, debo decir, que este escrito no sería completo, si no constáran en él mis palabras de amistosa gratitud para nuestro compañero académico el Excmo. Sr. Prof. D. Angel Vian Ortuño, catedrático de Química Industrial de la Universidad Complutense, por la generosa solicitud con que me ha prestado su tiempo y consejo para ordenar este trabajo, y por la amabilidad con que me ha introducido y guiado en el rico archivo informativo de su cátedra, en el que atesora datos, libros, revistas y cálculos con los que nutre su enseñanza, continuamente actualizada y siempre prestigiosa.

SIGNIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL PETRÓLEO

Por lo que hemos visto, renunciar a la energía vendría a significar renunciar al nivel de vida tan trabajosamente conseguido en nuestra civilización. De momento, prescindir del petróleo sería abdicar del dominio de la energía. Y al petróleo habrá que renunciar, por su precio y por su probable agotamiento próximo, y en todo caso por la creciente contaminación de los productos de su combustión.

La figura 1, expresa con elocuente brevedad cómo crecen la población del Mundo y el índice de consumo energético per capita. Sólo basta añadir, para dar significación al gráfico, que el crecimiento energético ha tenido por base al petróleo, y que a partir de ahora, las cosas tendrán que ser distintas.

Por lo que a España se refiere, cualquier reducción del consumo de petróleo no compensada tendría enorme repercusión, pues en nuestras fuentes energéticas el petróleo supone hoy un 62 por 100 del total; era sólo de un 10 por 100 en 1950 y un 30 por 100 hace diez años; y sería un 80 por 100 en los diez años por venir —con un consumo anual de 100 MM. Tm. de petróleo— si no se hubiera alterado la relación oferta-demanda ante la subida sustancial del precio de ese com-

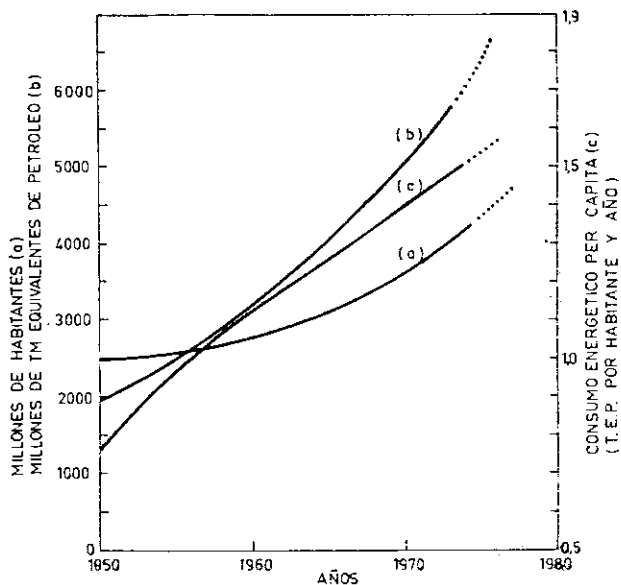


Fig. 1

bustible. Ello quiere decir que nuestra industrialización se ha venido haciendo a base del petróleo, y que al no poder continuar por igual camino, la estrategia industrial española ha de acomodarse a las nuevas condiciones de disponibilidades y precios.

Las reservas petrolíferas en territorio español son escasas, unos 25 MM. Tm. solamente, de las que sólo 11 MM. Tm. son recuperables, según valoración oficial hecha en 1972. Compárese su pequeñez con la capacidad instalada de las refineries que será en breve de un orden de magnitud próximo a los 60 millones de toneladas anuales, contando los anuncios de próximas instalaciones.

Por otra parte, el Plan Nacional de Minería acusa unas reservas carbonosas de 3.000 MM. Tm. (1.200 de hulla, 680 de antracita y 1.260 de lignitos) con un 54 por 100 inmediatamente recuperable.

Los esquistos bituminosos podrían proporcionarnos nada más que 12 MM. Tm. de aceites, y el uranio detectado importa unas 8.500 Tm. a base de unos costes de recuperación de 1.500 ptas./kg. No se han detectado en España existencias de gas natural; el que ahora se consume con demanda creciente, se importa del norte de Africa.

Ante esto, la política a seguir con carácter inmediato no podrá discurrir lejos de estas líneas maestras:

Intensificar la búsqueda de petróleo y gas en el interior. Esta apoya-
tura ya ha sido preparada por el Gobierno mediante la Ley de
Hidrocarburos recientemente votada en Cortes (26 junio, 1974).

Buscar más petróleo y gas en el exterior. En efecto, el Ministerio
de Industria, a través de la empresa pública Hispanoil, trata de
intervenir con la máxima actividad en la prospección y explota-
ción de pozos petroleros en Oriente Medio y en América con un
presupuesto de inversiones para la investigación petrolífera, en
el próximo decenio, del orden de los 35.000 MM. de pesetas, can-
tidad a la que habrá de sumar todavía las inversiones que precise
la explotación de los yacimientos que se descubran.

Reducir en lo posible la necesidad del petróleo como fuente ener-
gética y acudir a la de otros orígenes, lo que comporta :

Aumento del aprovechamiento hidráulico (presas).

Extensión de los programas de producción de energía nuclear.

Sustitución del petróleo por el carbón (o sus derivados).

Buscar la sustitución de gasolinas y gasóleos como combustibles
de tracción.

Buscar nuevas técnicas para aprovechar la energía solar directa y
buscar o perfeccionar las técnicas conocidas para explotar la
energía eólica, de las mareas, la geotérmica, etc.

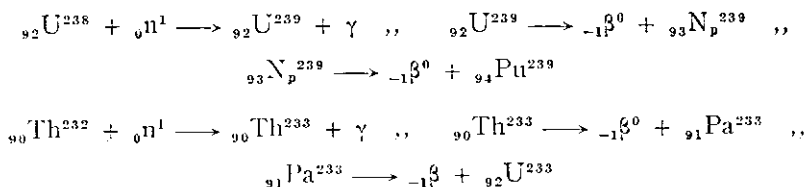
Prescindiremos aquí de los comentarios que podrían hacerse en
torno al último punto, porque se trata de temas aún embrionarios o
de posibilidades muy localizadas geográficamente. Tampoco comen-
taremos la intensificación del aprovechamiento hidráulico de nues-
tros ríos — ya explotados en más de la mitad de sus posibilidades,
que son de 75 mil millones de Kilovatios hora— por ser cuestión de
ninguna novedad, ni a la intensificación del empleo de gas natural,
pues se trata de una fracción del petróleo a fin de cuentas, y nos ce-
ñiremos a la sustitución de la energía primaria del petróleo por *la de
origen nuclear*, al por mayor, es decir, por producción en grandes
unidades o centrales, y a las posibilidades de *sustitución del petróleo
por los carbones* (o fracciones de aquel por productos de éste), si-
guiendo un camino inverso al que se ha recorrido en los cuarenta
últimos años.

Por lo que se refiere a la solución nuclear, las autoridades espa-
ñolas han previsto una potencia instalada de 23.000 MW. para 1985,
cifra importante, puesto que supondrá un 56 % de la electricidad que
se pueda producir en este año, pero que significa sólo un 72 % de
la previsión francesa para igual fecha, un 62 % de la del Reino Uni-
do, un 60 % de la de Alemania Federal, un 38 % de la del Japón
y nada más que un 8,5 % de la Norteamericana, según fuentes ofi-
ciales españolas.

Como se sabe, se llama energía nuclear o atómica a la que se absorbe o desprende como consecuencia de ciertas transformaciones producidas en los núcleos de los átomos. En el capítulo que sigue resumimos sus posibilidades.

LAS POSIBILIDADES DE LA ENERGÍA NUCLEAR

La transformación nuclear utilizada *hasta hoy* en la producción de energía es la *fisión*. Existen, únicamente, tres isótopos con estabilidad suficiente para ser almacenados durante largo tiempo (U-233, U-235 y Pu-239) que son fisionables por neutrones de todas las energías («térmicos» y «rápidos») *. De los tres isótopos, solamente el U-235 existe en la naturaleza; los otros dos, el U-233 y el Pu-239, se producen artificialmente, según las reacciones:



es decir, se obtienen a partir de U-238 y del Th-232, respectivamente, mediante captura de un neutrón y doble desintegración β posterior, en ambos casos.

Además de los isótopos fisionables por neutrones de cualquier energía, hay otros núcleos que requieren neutrones rápidos para producir fisión. Entre éstos merecen citarse el U-238 y el Th-232. Con neutrones de energía inferior a 1 MeV, la única interacción que tiene lugar es la captura. Por encima de este valor, se produce también fisión, en cierta cuantía, dependiendo de la mayor o menor energía de los neutrones actuantes.

Solamente se produce fisión en ciertos núcleos de números atómico y másico elevado; a ello contribuye de manera decisiva la fuer

* *Neutrones térmicos*: Su energía es inferior a 1 electrón-voltio; el valor más probable es de 0,025 eV. Se denominan térmicos porque su energía cinética depende únicamente de la temperatura del medio y por tanto es energía térmica.

Neutrones rápidos: La energía es del orden de varios millones de eV. Los neutrones rápidos se convierten en lentos como consecuencia de las colisiones de dispersión que sufren con los núcleos existentes en el medio. Estas colisiones tienen lugar de forma que el neutrón expulsado tiene una energía inferior a la de incidencia, quedando el núcleo con un exceso de energía; se denomina de dispersión porque la dirección del neutrón varía después de la interacción con el núcleo.

za repulsiva (culombiana) que existe en el interior del núcleo, que es proporcional al cuadrado del número de protones existentes en él. En el proceso de fisión, el núcleo excitado tras la absorción de un neutrón, se escinde en dos núcleos más ligeros denominados fragmentos de fisión; cuando la energía cinética del neutrón incidente es pequeña, los fragmentos son de masas diferentes. La relación de las masas de los fragmentos producidos por neutrones térmicos oscila entre 2 y 3.

La liberación de protones en el proceso de fisión puede explicarse de la forma siguiente. El núcleo U-236, que se forma cuando el U-235 capta un neutrón, se escinde en dos fragmentos, en los que la relación neutrón-protón resulta demasiado alta, a efectos de estabilidad, por lo que si estos núcleos poseen energía de excitación suficiente acaban por emitir neutrones para adquirir mayor estabilidad.

Desde el punto de vista de la economía energética y del aprovechamiento de la energía nuclear, la importancia del proceso de fisión radica en dos hechos:

a) La gran cantidad de energía liberada por unidad de masa. Como ejemplos de su magnitud se exponen algunos valores de la energía liberada por distintos tipos de reacciones:

	Kcal/Kg.
1. Conversión total de masa en energía	1,7.10 ¹⁷
2. Fusión de núcleos ligeros (H ₂)	1,1.10 ¹¹
3. Fisión del uranio	1,7.10 ¹⁰
4. Combustión química	0,7.10 ⁵

es decir, que la fisión del uranio es 20 millones de veces más potente que la combustión del carbón, y la fusión del hidrógeno 100 millones de veces.

b) La reacción de fisión iniciada por neutrones, origina liberación de más neutrones.

La combinación de estas circunstancias permite el diseño de un reactor nuclear en el que tiene lugar una reacción en cadena, auto-sustentada, con producción de energía en forma continua. Una vez iniciada la fisión en unos cuantos núcleos, los neutrones producidos en la reacción la propagan a otros.

Cabe destacar que ni el Th-232 ni el U-238 pueden mantener una reacción en cadena debido a que la posibilidad de fisión es pequeña incluso para neutrones de energía superior a 1 MeV, y a que, además,

la *dispersión inelástica* ** reduce rápidamente la energía de los neutrones por debajo de este valor.

La recuperación de la energía liberada en el proceso de fisión se realiza en los reactores nucleares. En esquema, un reactor consta de un *núcleo activo*; en el que se mantiene la reacción en cadena y en donde se libera casi toda la energía de fisión en forma de calor. Este *núcleo*, que contiene el combustible nuclear, está constituido por los elementos combustibles, en cuya composición entra un material *fisible* (U-235, Pu-239, U-233) y un material *fértil* (U-238, Th-232).

Si se trata de realizar la fisión con neutrones lentos (caso más corriente hoy en día), se precisa un *moderador*, cuya función es la de frenar los neutrones de gran energía, procedentes de la fisión, por medio de colisiones de dispersión inelástica. Los mejores moderadores son aquellos elementos, de número másico pequeño, con poca tendencia a capturar neutrones (agua, agua pesada, berilio, óxido de berilio, grafito e hidrocarburos).

El *núcleo* del reactor nuclear *térmico* está rodeado de un reflector de neutrones para reducir la pérdida de éstos por escape. Así se consigue disminuir la *masa crítica* del reactor. El material de construcción del reflector puede ser el mismo utilizado como moderador.

El calor generado se elimina del núcleo mediante un fluido refrigerante, que circula por un circuito primario, y que, a su vez, cede calor al agua de otro circuito combinado si el reactor se utiliza para producir electricidad, vía vapor de agua que se descarga sobre turbinas. Los refrigerantes primarios utilizados normalmente son: agua, metales fundidos, aire, CO₂ y He. La figura 2, representa muy esquemáticamente un reactor generador de energía eléctrica.

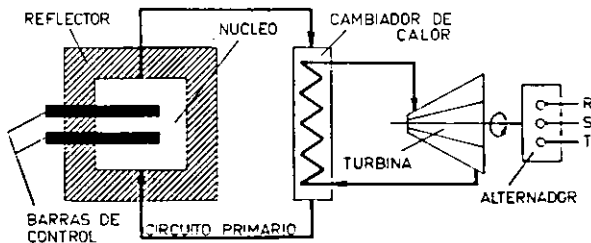


Fig 2

** La dispersión de un neutrón por un átomo es inelástica cuando la energía cedida por aquél queda en éste en forma de energía interna (estado excitado). Es elástica cuando la energía adquirida por el núcleo del átomo es de naturaleza cinética.

El control del desprendimiento de la energía se realiza mediante las barras de control construidas de materiales que absorben neutrones, no permitiendo continuar la fisión (Cd). Estas barras se introducen en la pared del reactor entre los elementos combustibles.

Los reactores actuales instalados en España (excepto Vandellós, de uranio natural), utilizan como refrigerante agua, existiendo los tipos de «agua de ebullición» —el calor generado se emplea en producir vapor— y de «agua a presión» —el calor se utiliza en aumentar el calor sensible—. De estos dos tipos serán todos los proyectados, hasta el momento, en un futuro próximo.

El contenido de U-235 en los elementos combustibles de estos reactores, oscila entre el 1 y el 3 por 100.

En la fisión se produce Pu-239, en cierta cantidad, que es preciso recuperar, y productos de fisión sólidos y gaseosos.

Los llamados *reactores rápidos* presentan, respecto a los térmicos, diferencias fundamentales, como son:

1. El enriquecimiento del isótopo fisil es muy superior; está comprendido entre 10 y 40 por 100.

2. El resto del material que compone el elemento combustible han de ser isótopos de número másico elevado, pues los de número másico bajo moderarían los neutrones.

3. Deben evitarse todos los elementos que produzcan dispersión inelástica —moderadores—, por lo tanto, también el reflector ha de ser un material de elevado número másico.

Si alrededor del núcleo del reactor se dispone una capa de material fértil (U-238, Th-232), ésta se convertirá en fisil por captura neutrónica. Si las pérdidas de neutrones, por escape, se reducen al mínimo, puede disponerse de más de un neutrón por fisión, produciéndose más material fisible, por captura neutrónica, del que se consume por fisión.

Cuando el isótopo fisible producido es idéntico al empleado para producir la fisión, el reactor se denomina *reproductor* (por ejemplo, Sistema Pu-239, U-238).

Sin embargo, si el material fisible producido es distinto al empleado para fisión, el reactor se denomina *convertidor* (por ejemplo, Sistema U-235, U-238).

Los reactores térmicos, por contener materiales fértiles, también son convertidores; pero en ellos tienen más probabilidad de capturar neutrones el U-235 y el Pu-239 que el U-238 o el Th-232, por lo que la cantidad de material fisible producido es inferior a la consumida.

Cuando se precisan reactores del menor volumen posible —submarinos— se utilizan los llamados *quemadores*, con contenidos en isótopo fisible superior al 90 por 100.

El mayor interés de la utilización de los reactores rápidos frente a los térmicos se comprende que estriba en la producción de isótopos fisibles. Esto hace que las disponibilidades de combustible atómico, para producir energía aumenten extraordinariamente. En efecto, supuesto un consumo energético cien veces superior al actual, los recursos de uranio hoy conocidos durarían sólo ocho años empleados en reactores térmicos; el uranio y el plutonio, en reactores rápidos durarían ¡un millón de años! Pero, todavía, para mayor tranquilidad conviene decir que el deuterio disponible para los *reactores de fusión* podría durar tres mil millones de años dando energía al ritmo citado. Téngase en cuenta que esta cifra es del orden de la edad actual de la tierra.

En la figura 3, se recogen esquemáticamente los distintos modos de producción de energía nuclear. *A* corresponde a la desintegración térmica, *B* a la fisión reproductora y *C* y *D* a dos casos de fusión.

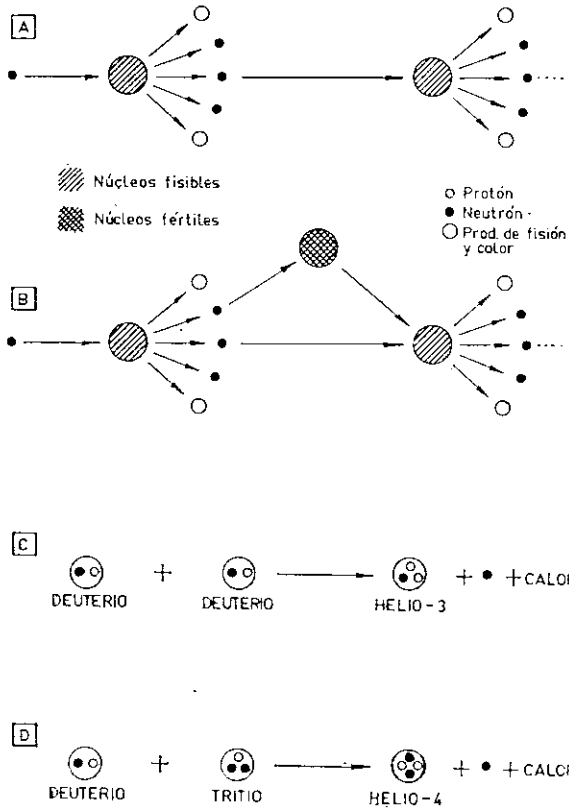


Fig. 3

Hay dos circunstancias que hacen prever que la energía del futuro sea la de fusión. La primera es la dificultad, acaso imposibilidad, de eliminar los residuos radioactivos del tratamiento de los combustibles de los reactores. Se ha pensado en deshacerse de ellos enviándoselos al Sol, vía cohete. La segunda es la enorme disponibilidad de materia prima para fusión con que se cuenta en el agua del mar, que contiene 34 g. de deuterio por metro cúbico. Sólo el 10 por 100 de esta reserva supone una disponibilidad de energía 500.000 veces mayor que la de todos los combustibles fósiles de la Tierra.

Actualmente se está desarrollando la tecnología de la fusión, siendo los países más avanzados USA y la URSS, que trabajan en este problema en colaboración. Las cifras expuestas justifican el enorme interés de estos trabajos.

Aunque las informaciones sobre los resultados no son alentadoras, algo hace pensar a los especialistas que la fusión está más avanzada de lo que se dice. El programa de montaje de «reactores de potencia» ha sufrido una fuerte desaceleración en USA. Además, las empresas americanas parecen tener gran prisa por vender reactores térmicos y rápidos. Esto hace pensar que tratan de amortizar los gastos realizados en investigación y desarrollo de tales reactores, antes de comenzar a vender la fusión.

Indudablemente la fusión presenta problemas de solución no sencilla, como son los efectos biológicos que pudiera tener la contaminación por tritio, por la posible sustitución del hidrógeno en las moléculas constituyentes de la materia viva. En el orden meramente técnico, tampoco será fácil la construcción y control del espacio toroidal donde ha de inscribirse el sustrato magnético capaz de hacer de recipiente para el gas de hidrógeno pesado, que ha de «fundirse» a «plasma» por calefacción a varios millones de grados. Actualmente, en Culham, Inglaterra, se llevan estudios conjuntos por la Comisión Británica de Energía Atómica y la EUROTOM para impulsar el desarrollo de un reactor europeo de fusión experimental.

Queda aún en este campo modernísimo del aprovechamiento del átomo como fuente de energía la posibilidad de producir cantidades aún más importantes de energía por *aniquilación de la materia*, al poner en contacto partículas y antipartículas, núcleos y antinúcleos obtenidos artificialmente. Todo esto parece hoy pura fantasía, pero no puede desecharse sin más, pues no menos fantástico hubiera sido anunciar, a principio de este siglo, cuando Lord Rutherford iniciaba los estudios sobre el núcleo atómico, que cuarenta años después las bombas de Hiroshima y Nagasaki iban a producir el mayor espanto de todas las guerras; que a cuarenta años vista, la energía atómica estaría ya dominada y aprovechada; y que setenta años después iba a ser esta energía la esperanza de la Humanidad.

De todas maneras, el futuro desarrollo atómico causa no poca in-

quietud ante el peligro irreparable de radiactividad que puede producir por acumulación y por cualquier fallo humano o mecánico, fallo tanto más probable cuanto más intenso y extenso sea el uso que se llegue a hacer de estas fuentes energéticas.

COMPARACIONES PRÁCTICAS

Dejando a un lado toda especulación sobre las más modernas posibilidades nucleares, de momento no cabe entrar en comparaciones prácticas más que, teniendo en cuenta, frente al fuelóleo como combustible para las centrales térmicas, la energía nuclear convencional, por un lado, y los carbones de más de 4.500 Kcal/kg. (hullas y antracitas) y los lignitos, que son los combustibles de disponibilidad más o menos pronta para la sustitución, por otro.

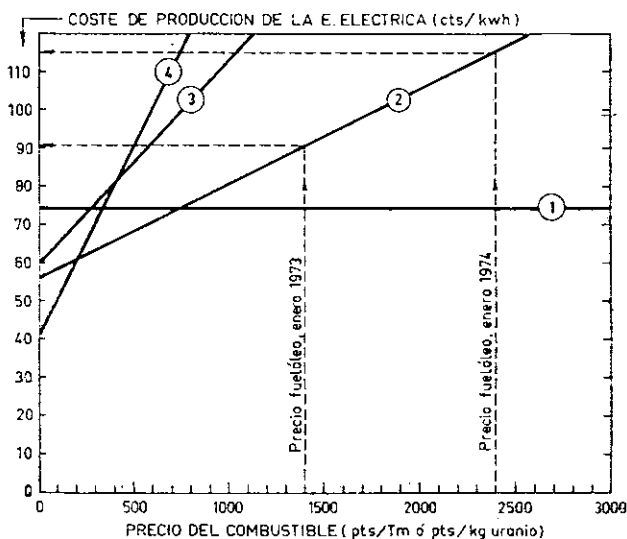


Fig. 4

Para mayor claridad se expresan los resultados del cálculo comparativo en la figura 4. Y por razones obvias se omite el detalle de tales cálculos.

En la figura citada se representan los precios de coste del Kiloatio-hora, para cada uno de los tipos de central, del tipo de las instaladas actualmente en España, en función del precio variable del combustible. Los costes están calculados para los coeficientes de

utilización reales de funcionamiento de las centrales —tomados de publicaciones oficiales— y para potencias de 1.000 MW, en el caso de las centrales nucleares de 500 MW, para las térmicas, pues ésta parece ser la potencia máxima a que es hoy conveniente llegar por grupo. La línea 1 se refiere a energía nuclear (coeficiente de utilización = 0,47), la 2 al fuelóleo ($u = 0,38$), la 3 a los carbones ($u = 0,39$) y la 4 al lignito ($u = 0,44$).

Tomando como referencia el precio del fuelóleo antes de la subida de los crudos, que para las térmicas era de 1.400 ptas./Tm., se obtiene un precio de coste de 90 cts./kwh, valor que parece demasiado alto, pero que no lo es si se tienen en cuenta los factores de utilización, que resultan muy bajos. La «indiferencia» o equivalencia con el petróleo se produce para precios del carbón y del lignito de unas 600 y 500 ptas./Tm., respectivamente, con lo que queda bien clara la ventaja del petróleo sobre los carbones, ya que estos precios no son remuneradores para los combustibles sólidos. Con el precio del petróleo de 1974, la equivalencia de precio del carbón y del lignito se produce a 1.050 y 750 ptas./Tm., que tampoco son precios compensadores. En la figura 5, se puede apreciar la enorme influencia que

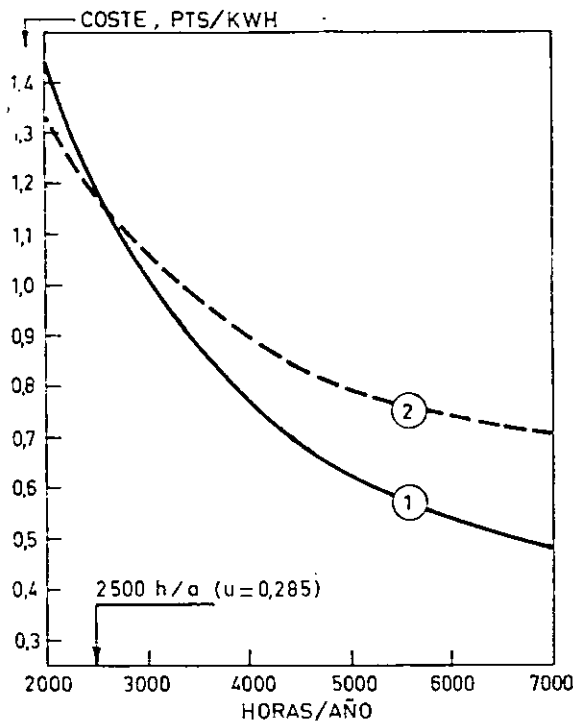


Fig 5

tiene en el precio del Kilovatio-hora el coeficiente de utilización de las centrales. En las ordenadas de esta figura se ha representado el precio a que resulta el Kilovatio-hora en función —abcisas— del número de horas trabajadas por la central, para el caso de las plantas nucleares (1), tipo PWR y para térmicas del fuelóleo (2). La potencia instalada supuesta es de 1.000 MW. Las inmovilizaciones unitarias son: 15.800 ptas./kw. para 1, y 11.200 ptas./kw para 2. En ambos casos se han supuesto unas cargas financieras del 15 por 100 del inmovilizado ***.

Debe hacerse notar que la subida actual de los crudos ha supuesto realmente un 66 por 100 de aumento para el producto medio ex-refinería. El precio fijado para el fuelóleo repercute en el coste del Kilovatio-hora en la forma que se acaba de comentar y recoge la figura 4.

Hay que tener en cuenta que la subida efectiva del precio de adquisición de los crudos petrolíferos es, en realidad, la que indica la tabla 1, teniendo en cuenta la variación habida en todos los factores del coste (1 enero 1973 a 1 enero 1974):

T A B L A 1

Variaciones de precios del petróleo crudo 1973 a 1974

C O N C E P T O	Precio, ptas./Tm		Diferencia de precios %	Cociente de precios
	1973	1974		
Crudo fob.....	1.150	4.300	273	3,74
Fletes.....	540	610	13	1,13
Refino.....	390	520	30	1,33
Distribución.....	1.430	1.430	0	1,00
Impuestos.....	1.600	1.600	0	1,00
	5.110	8.460	66	1,66

en cuya tabla se puede leer, entre otras conclusiones, que la cifra que refleja la verdadera repercusión inmediata del espectacular aumento del precio del crudo *en origen* significa un encarecimiento pro-

*** Fuente: Ministerio de Asuntos Exteriores. Informe de la Comisión Económica para Europa (CEPE), del 29.12.72, actualizado para el nuevo precio del fuelóleo para térmicas = 2.400 ptas/Tm. (2.3.74).

medio del 66 por 100 —y no del 400 por 100— de los derivados de tan codiciada materia prima.

De las figs. 4 y 5, se deduce también el interés en sustituir el petróleo como fuente de energía por otra materia en la que no influyan de forma tan decisiva los precios de la materia prima. Esto, como se ve, ocurre con la energía nuclear. En dichas figuras se pone de manifiesto que, en términos reales, cada incremento de 20 dólares/libra en el precio del concentrado de uranio —precio actual 12 dólares/libra— supone un aumento en el coste de 0,6 cts./kwh. Más favorable todavía es esta circunstancia para los reactores rápidos, en los que cada aumento de 500 dólares/libra en el precio del concentrado de uranio repercute sólo en 0,6 cts./kwh.

Estas consideraciones explican la tendencia, antes comentada, de sustituir el petróleo —y, por supuesto, el carbón— por fuentes nucleares; de fisión ahora, de fusión después, y *dejar el petróleo y los carbones para utilizarlos como materias primas para utilización química*, sin el temor de su agotamiento inmediato. En el caso del petróleo, dado que como materia prima petrolquímica se utiliza el 3 por 100 del total extraído, aproximadamente, significa que su duración se multiplicaría, automáticamente, por un factor de 33. Como las reservas de petróleo conocidas se estima que durarán otros treinta años, si se sustituyera totalmente, a nivel de consumo actual, se tendría petróleo para unos diez siglos. Desde el punto de vista químico, a este desahogo habría que sumar el todavía más importante que dá el carbón, cuyas reservas son enormes. Y más aún si se cuenta con la posibilidad de movilizar las ingentes cantidades de roca caliza, cuyo C —disponible fácilmente como CO₂— sería una reserva carbonosa prácticamente inagotable.

Continuando con la cuestión energética, en la figura 6, se establece la misma comparación gráfica de antes, pero no en función del precio del combustible sino del *precio específico*, magnitud mucho más expresiva que se obtiene multiplicando el precio del combustible (ptas./Tm.) por el consumo específico medido por las toneladas que se necesitan para generar 1 kwh. Las dimensiones físicas del precio específico son, evidentemente, ptas./kwh.

Esta gráfica 6, muestra con claridad la posición tan poco ventajosa del lignito (4) frente al carbón (3) y el fueloil (2) y mucho más ante la energía de origen nuclear (1). Los coeficientes de utilización de planta con que se han efectuado los cálculos son $u_1 = 0,47$, $u_2 = 0,38$, $u_3 = 0,39$ y $u_4 = 0,44$.

Analizando aún un poco más el problema, se llega a ver que la razón de esa desventaja radica en los *coeficientes de utilización de las centrales* que han servido de base al cálculo. Estos coeficientes proceden, como se ha dicho(de los datos oficiales disponibles, del año pasado. El hecho es que la situación se modifica sustancialmente cuando en los cálculos se toma como base de utilización de las plantas

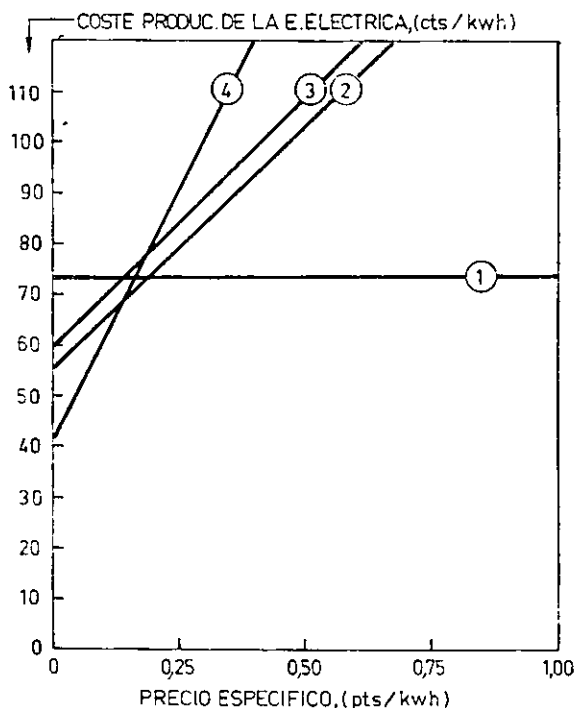


Fig 6

un 80 por 100 de su capacidad (coeficiente de utilización = 0,8). Entonces, como indica la figura 7, el lignito se aproxima mucho al fuelóleo y aventaja notablemente al carbón bituminoso.

Las conclusiones que podrían extraerse huelgan, por obvias. Sin embargo, el problema no es tan sencillo, pues la combustión de lignitos es mucho más sucia que la del petróleo, por la mayor formación de polvo y por el alto contenido en azufre que da lugar a unos gases demasiado ricos en dióxido de azufre, sin que se pueda considerar resuelto el problema de la desulfuración previa de los carbones ni esté probada la eliminación rentable del SO_2 de los gases de combustión.

Probablemente, los lignitos —los carbones en general— si llegan a ser imprescindibles algún día como combustibles no será quemándolos directamente sino en forma de derivados, como hidrocarburos de síntesis o de hidrogenación.

Y, en todo caso, cerramos este capítulo insistiendo en la condi-

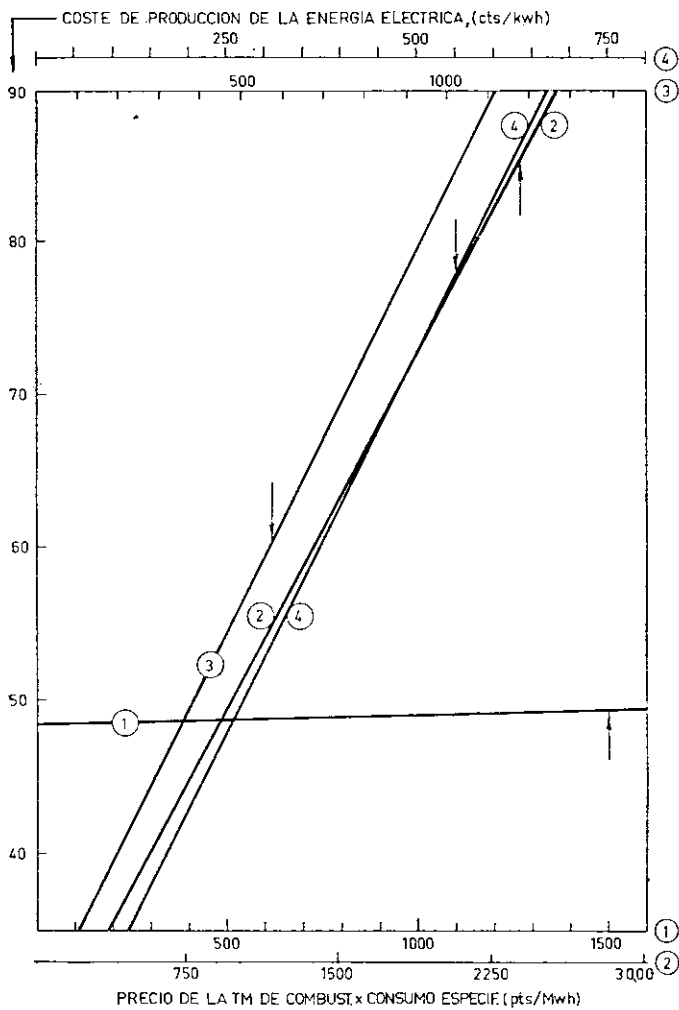


Fig. 7

ción *sine qua non* del uso no contaminante de ninguno de los combustibles posibles. Para los combustibles nucleares el peligro es la contaminación térmica y la radiactiva; para los combustibles fósiles, la sulfurosa, la pulverígena, la de óxidos de carbono y de nitrógeno y la térmica también, aunque ésta en algo menor medida que en el caso nuclear.

Téngase en cuenta que la contaminación se explica por la intensi-

ficación productiva y que los especialistas prevén un aumento constante de la producción energética hasta centuplicar el consumo actual con una potencia futura instalada de $5 \cdot 10^{14}$ watios (cien mil millones de kilowatios) que aún sólo utilizada al 50 por 100 de su capacidad supone una producción energética primaria anual de unos 50 billones de kilowatios-hora (que es la energía que podrían (?) desarrollar con su trabajo físico, en un año, 270.000 millones de personas (dicho sea para fijar ideas).

La tabla 2 —con datos del Dr. Plass— resume las reservas energéticas de la Tierra. Como puede apreciarse, los combustibles fósiles durarían 260 años al ritmo de consumo actual, y sólo 2,6 años a un ritmo de uso cien veces superior al de hoy. Han de quedar, pues, descartados, con vistas al futuro; y los problemas de contaminación que producen y produzcan sólo pueden tener un plazo de vigencia nada más que mediano.

T A B L A 2

Suministros potenciales de combustibles

O R I G E N	Suministro de 10^{12} wat año	A ñ o s d e v i d a	
		Al ritmo actual ($5 \cdot 10^9$ kw)	Al ritmo de $5 \cdot 10^{11}$ kw
C. Fósiles	1 300	260	2,6
Fisión nuclear.....	3.000	600	6
React. rápidos (1).....	300 000	60.000	600
Mat. fisibles en la corteza terrestre.....	$1,6 \cdot 10^{12}$	$0,32 \cdot 10^{12}$	$0,32 \cdot 10^{10}$
Litio (fusión) explotable ...	7.000	1.400	14
Litio (fusión) existente en corteza.....	$2,2 \cdot 10^{12}$	$0,44 \cdot 10^{12}$	$0,44 \cdot 10^{10}$
Deuterio (del agua del mar).	$6,6 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^9$
Radiación solar	$1,7 \cdot 10^{17}$ wat (continuo)	Sin límite	Sin límite
Energía mareomotriz	10^{12} wat (cont.)	Insuficiente	Insuficiente
Energía geotérmica	$6 \cdot 10^{10}$ wat (")	Insuficiente (2)	Insuficiente

(1) Utilizando sólo los productos aprovechables.

(2) Considerando sólo fuentes superficiales y no las posibilidades del magma a profundidades de 65 Km.

El futuro energético, como la tabla 2 indica, sólo puede estar en el átomo y en el aprovechamiento de la radiación solar. La misión próxima de la ciencia será hacer inocuo el uso del primero y encontrar la forma de utilizar económicamente la segunda. Estos son los dos grandes retos que la crisis energética tiene planteados a la investigación científica y técnica.

Lo que no parece dudoso es que ha pasado el momento de la tecnología basada en la combustión, porque aún considerando ésta en su aspecto químico-contaminador más inocente, no puede negarse el hecho del aumento progresivo de contaminación del CO₂ atmosférico. De un contenido medio de 280 ppm en 1900 se ha llegado a 320 ppm en 1973; para el año 2000 se calcula que la dosis de CO₂ sería, si todo sigue como va, de 350 ppm.

En poco tiempo habría de enfrentarse la Humanidad con los problemas ecológicos derivados de la correspondiente modificación del equilibrio carbonato-bicarbonato, que regula el pH del agua del mar y que está determinado por la presión parcial del CO₂ en la atmósfera. E, igualmente, con las consecuencias de la elevación de la temperatura en la superficie de la Tierra a causa del aumento de la proporción de CO₂ en el aire. La mayor dosis de CO₂ eleva la absorción de radiaciones luminosas solares y, por lo pronto, del correspondiente aumento de temperatura se temen consecuencias tan cataclísmicas como la fusión de buena parte de masas de hielo de los casquetes polares y una ostensible elevación del nivel del mar que pondría en peligro la existencia de algunas ciudades costeras. Digamos para completar el cuadro que hay autores que estiman que la producción de polvo —otra ganga de la civilización— al disminuir la transparencia atmosférica aliviaría el catastrófico aumento de la temperatura.

FUTURA SIGNIFICACIÓN QUÍMICO-INDUSTRIAL DEL CARBÓN Y DEL PETRÓLEO

La primera gran industria fue, quizá, la siderúrgica. Utilizó inicialmente el carbón de madera como *combustible* y como *reductor* del mineral de hierro, siguiendo tradiciones artesanas.

El tamaño de los hornos de cuba utilizados para la reducción del mineral de hierro y la altura de los lechos de las sustancias a tratar viene limitado por la resistencia al aplastamiento del combustible.

Hace tres siglos se empleaba carbón procedente de maderas frondosas, como encina, haya o roble. La necesidad de encontrar un nuevo combustible para la industria del hierro surge como consecuencia de la disminución de las áreas forestales en los siglos XVI y XVII, provocada por el creciente empleo de la madera como combustible y como material de construcción, acción concomitante, a efectos de

desforestación, con la necesidad de expansionar la agricultura ocupando áreas anteriormente pobladas de bosques. Así se va configurando la actual fisonomía de Europa.

En repetidas ocasiones pretendieron los siderúrgicos reemplazar el carbón de madera por carbón mineral, que dada su similitud y abundancia parece el sustituto lógico. No obstante, las impurezas de los carbones, especialmente el azufre, dan lugar a fundiciones quebradizas. Además, el desprendimiento de volátiles y el aumento de volumen que experimenta el carbón mineral durante la inevitable etapa de precalefacción dificultan seriamente la marcha del horno.

Tras un siglo de intentos, en el año 1735 el quáquero y maestro fundidor Abrahan Darby, tras una experimentación de más de cinco años, obtiene un coque que se abre camino definitivamente. Treinta años más tarde se instalan en Inglaterra las primeras baterías de coquización por procedimientos similares a los empleados en la actualidad. El problema se transfiere entonces a cómo utilizar los volátiles —gases y líquidos— desprendidos en la pirogenación de la hulla para obtener el coque.

Pronto William Murdoch, ingeniero de la fábrica de máquinas de vapor de Boulton y Watt, utiliza el gas de hulla para el alumbrado de su casa, hacia 1792. Diez años más tarde instala una pequeña fábrica de gas para iluminar la factoría de Boulton y Watt, en Soho.

El interés despertado por esta iluminación le anima a ampliar la fábrica de gas y destinarla al suministro público. Pronto, la utilización del gas para alumbrado se extiende rápidamente a todas las ciudades importantes; el uso del gas se universaliza, y se montan «fábricas de gas», es decir, fábricas cuyo producto principal es el gas.

En las coquerías, el único producto que se persigue es coque: los volátiles se vierten a la atmósfera en cantidades cada vez mayores, con los consiguientes riesgos y molestias. La contaminación, como se ve, no es cosa de hoy.

Por su parte, las fábricas de gas trabajan con hornos cerrados, ya que su producto principal es gaseoso: los alquitranes y aguas amoniacales, productos de los que hay que purificar el gas para que resulte apto para el alumbrado, son materias residuales a las que no se encuentra salida, problema en el que coinciden los siderúrgicos y los fabricantes de gas.

Entretanto, la Ciencia parece velar por el futuro. Comienza por entonces a establecerse los principios sobre los que asentarán nuevos progresos. La síntesis de la urea a partir de cianato amónico —realizada por Wöhler en 1828— junto con la síntesis del ácido úrico a partir del dicián, en el año 1828, significan la posibilidad de obtener en el laboratorio sustancias producidas por los seres vivos. Justo Von Liebig investiga en su laboratorio de Giessen los fundamentos del análisis de sustancias orgánicas. Así se va perfilando el camino de la química de los compuestos de carbono, que recibió el nombre

de Química Orgánica a propuesta de August Kekulé en 1858. Caen las barreras de prejuicios que se oponían al progreso y el horizonte de posibilidades se amplía insospechadamente.

Y coincidiendo con la nueva Ciencia y la nueva mentalidad, nos encontramos con las ingentes cantidades de productos residuales de las industrias del hierro y del gas a que antes nos hemos referido. Estos productos residuales han sido siempre un acicate para los científicos e industriales, pues son materias primas baratas y, al mismo tiempo, su utilización soluciona los problemas que pueda plantear el tener que eliminarlos.

Así ocurre con los residuos de la obtención del gas y de coque—el alquitrán de hulla— que comenzó a ser utilizado como conglomerante de los finos de carbón, en forma de briquetas, para recubrir la madera y evitar que se pudra o que sea atacada por los insectos, y en la pavimentación de calles y caminos.

Pero esto no fue bastante. Por destilación del alquitrán de hulla, Runge aisló, en 1834, el fenol, la anilina y el pirrol. Y a partir de este momento se suceden los descubrimientos de nuevas sustancias en el alquitrán de hulla, con la consiguiente confusión en cuanto a nomenclatura y propiedades de sustancias descritas y caracterizadas por investigadores independientes. Ya en 1847, Mansfiel, del Royal College de Londres, había aislado y caracterizado más de veinte compuestos distintos.

Kekulé propone, diez años después, la tetravalencia del carbono, y a los ocho años publica su teoría sobre la disposición hexagonal de los átomos de carbono en el benceno, unidos por dobles enlaces alternados, marcando el curso del desarrollo de la Química Orgánica en el resto del siglo XIX, tanto por las conclusiones como por el rigor y metodología con que fueron elaboradas.

A partir de la anilina, William Perkin, un joven discípulo de Hofman, obtiene en 1846, cuando trataba de sintetizar la química, el «violeta brillante», la maubeína, primer colorante carbonado sintético.

Y aquí arranca decidida la industria química orgánica. En la segunda mitad del siglo XIX se crean las primeras industrias de derivados del alquitrán, como la Bayer, que se estableció en Eberfeld en el año 1850, y la Badische Anilin und Sodafabrik (BASF), fundada en Mannheim-Ludwigshafen, en el año 1865, por un consorcio de fabricantes de gas, cuyas actividades iniciales fueron la fabricación de colorantes sintéticos; y pocos años después, la industria del alquitrán de hulla fabrica ya, además de colorantes y explosivos, otros diversos productos que utilizan las industrias farmacéutica, textil, minera, etcétera. A su vez, demanda cantidades crecientes de productos inorgánicos y bienes de equipo, en un ciclo de interdependencias cada vez más solidarias.

Inmediatamente entra en liza la catálisis industrial, y en los primeros años del siglo XX se logra la síntesis del amoníaco, por Haber

y Bosch, con la doble conquista de independizar a Europa del nitrato de Chile —abono nitrogenado monopolizado— y poder disponer de ácido nítrico, por oxidación catalítica del amoníaco, materia imprescindible para obtener derivados nitrados que son intermedios básicos para las industrias de explosivos, colorantes y productos farmacéuticos, entre otras.

Pero todavía se atreve a más la Química Industrial de los años veinte. Con la experiencia de la síntesis catalítica del NH_3 a altas presiones, se pasa pronto a la síntesis del metanol, elevando enormemente la disponibilidad de un producto de tanto interés que hasta entonces sólo se podía obtener —en muy escasa proporción— por pirogenación de la madera.

Para la síntesis del metanol se parte del llamado «gas de síntesis», mezcla de CO y H_2 obtenida por gasificación con vapor de agua del carbón incandescente, de los coques de gas, por ejemplo, que no son de fácil salida.

Difícilmente se encontraría en la historia de la industria química mejor ejemplo de desarrollo racional que el que ofrece el gas de síntesis como materia prima. No es de extrañar que en Alemania, país pobre en petróleo y rico en carbón, se intentará también la independencia en combustibles líquidos para motores por la vía de carbón. Se logró por dos procedimientos: por hidrogenación del carbón (Bergius-Kranck-Pier) y a partir del citado gas de síntesis (Fischer-Tropsch).

Ambos procedimientos han sido reconsiderados en el presente como posibles métodos para obtener hidrocarburos en condiciones de suplencia de los de origen petrolero, si los precios del petróleo llegaran a hacer inviables las técnicas petroleoquímicas. Después volveremos sobre esta cuestión, para ver la posible reacción de la Química Industrial ante la amenaza de tener que volver al camino que abandonó hacia los años treinta, cuando la síntesis de productos químicos a partir de fracciones petrolíferas sobrantes de las refinerías comenzó a barrer —y barrió en pocos años— a casi toda la industria química fundamentada en el carbón.

Probablemente fueron los aceites ligeros del alquitrán de hulla, de carácter aromático, los que hicieron posible el desarrollo del motor de combustión interna. Pero cuando a principio de siglo se inicia la producción industrial de automóviles se eleva la demanda de «esencia», empiezan a encontrar aplicación como tal las fracciones blancas obtenidas por destilación del petróleo que se venían usando casi exclusivamente para el alumbrado al por menor. La demanda de gasolina, fácilmente satisfecha por el petróleo, aumenta al ritmo floreciente de la industria del automóvil. Con ello, los alquitranes pueden dedicarse íntegramente a la industria química.

Pero la proporción de gasolina que se obtiene por destilación de los crudos, no alcanza en la mayor parte de ellos más del 20 por 100,

y los productos residuales, como ocurría con las industrias del gas del alumbrado y del coque, constituyen un grave problema de residuos a los que hay que buscar aplicación.

La solución fue el craqueo de estos residuos, que se conocía desde mediados del siglo XIX y que ahora cobra vigencia ante tan singular coyuntura.

En su sentido original —y onomatopéyico— el craqueo es la rotura de las moléculas de hidrocarburos, bajo la única influencia de la temperatura, seguida de algunas recombinaciones parciales.

El primer procedimiento industrializado con éxito fue puesto a punto por Burton y Humphries en 1912. Se trataba de un proceso de destilación continua, a presión, en una caldera cilíndrica horizontal calentada a fuego directo.

Pese a su eficacia, el proceso no estaba exento de riesgos, pues las presiones y temperaturas elevadas constituían una prueba excesivamente dura para los aceros de la época, y los incendios y explosiones se prodigaban.

Tras el paréntesis de la primera Guerra Mundial, durante el cual la producción se orientó a aromáticos para surtir la fuerte demanda de explosivos, en 1922 se iniciaron los métodos modernos de craqueo térmico, en los que la alimentación se impulsa a través de un serpentín instalado en el interior de un horno (proceso CROSS y DUBBS). La figura 8 representa un esquema simplificado de esta interesante operación. La fracción a craquear (alimentación) se precalienta con los productos residuales y pasa a una columna de separación donde pierde las partes volátiles que aún pudiera tener, yendo a las colas

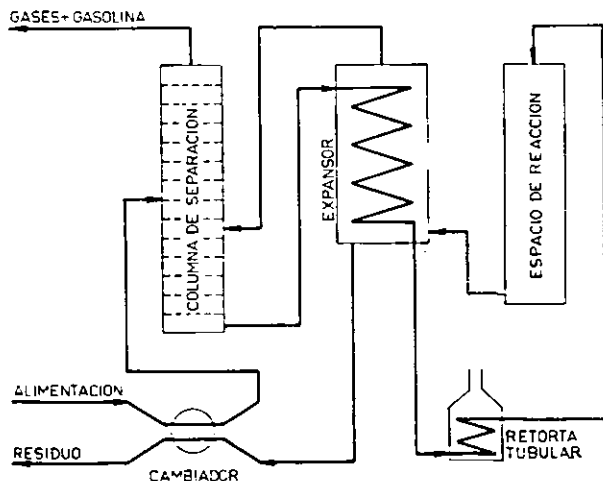


Fig. 8

de la columna la parte principal. De allí pasa a constituir la corriente enfriadora del expansor, y así precalentada sufre el craqueo en una retorta tubular cuyos productos se detienen en un espacio de reacción —para que se completen las reacciones secundarias de condensación de gases— pasando los productos craqueados al expansor, para enfriarse con la corriente contraria, y de ahí a la columna en la que se separan los gases y gasolinas de las partes no transformadas o polimeras.

La figura 9 representa el sistema más moderno de craqueo térmico con sólido intermedio, tipo Thermophor. El circuito del sólido está representado en línea de trazos.

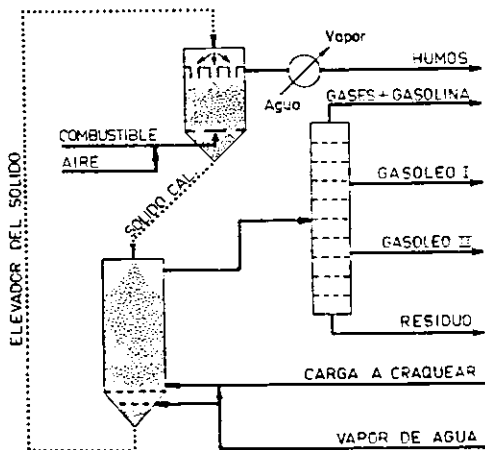


Fig. 9

Los productos finales del craqueo térmico, si se lleva a sus últimas consecuencias, son carbono e hidrógeno. Pero si se interrumpe la aplicación de calor antes de alcanzar esta última etapa, se obtiene una mezcla de productos intermedios y finales cuya composición varía en función de tres magnitudes: presión, temperatura y tiempo de acción.

La ruptura térmica de las moléculas permite:

Revalorizar residuos de destilación, baratos, transformándolos en otros más volátiles, más solicitados, como la gasolina, primero, y el gasóleo, después, para los motores Diesel.

Eliminar un producto de salida restringida, por ejemplo, una fracción pesada, transformándola en gasolina, gasóleo y coque.

Mejorar la calidad de las gasolinas directas, aumentando su índice

de octano», y la de los gasóleos pesados al poder reducir su viscosidad y mejorar las condiciones de carburación.

Los productos de la refinería se diversifican como consecuencia del craqueo, que inicialmente se pensó para elevar la proporción de gasolinas. Pero la gran consecuencia desde el punto de vista químico-industrial fue la aparición de gran cantidad de gases —olefinas, metano e hidrógeno, principalmente— que una vez saturadas las necesidades térmicas de las refinerías se enviaban a quemar a las «antorchas» y que, como es lógico, pronto se pensó en darles una aplicación rentable. De ellos salió nada menos que lo que hoy se llama Petroleoquímica.

Químicamente el problema no era muy complicado, pues la separación del H_2 y del CH_4 de las olefinas no era insalvable. Además, el H_2 tenía buen mercado para la síntesis de fertilizantes, vía amoníaco, y el metano podía suplementar al gas ciudad, por su alta capacidad calorífica. Las olefinas, por su parte, dada la conocida reactividad del doble enlace, fueron pronto objeto de estudio y aplicación. En pocos años se impone esta nueva rama de la Química Industrial, que llega a utilizar las olefinas y también las parafinas, incluso por nitración y cloración, a sintetizar hidrocarburos aromáticos —hasta hace treinta años patrimonio de la Carboquímica— y a producir acetileno, por craqueo, con una aparente vulneración de los principios de la termodinámica; y a partir del acetileno barato se desarrolla toda la gama de productos químicos que Reppe había obtenido a partir del carbón, vía carburo de calcio, pero a un precio imposible.

La tabla 3 da idea resumida de las posibilidades del craqueo térmico y la línea estratégica de producción de las refinerías.

Pero en la estrategia de la refinería juega también gran papel el craqueo catalítico. El reformado catalítico de las naftas, que químicamente es una operación compleja de deshidrogenación, isomerización y ciclación, permite transformar las gasolinas de mala calidad, constituidas por hidrocarburos saturados, principalmente, en aromáticos o isoparafínicos, cuyos índices de octano son más elevados. Este proceso es la principal fuente de hidrocarburos aromáticos a partir del petróleo. Junto a ellos, el reformado produce propano, i-butano y en mayor proporción n-butano. La figura 10 da idea esquemática de una instalación de craqueo catalítico, con catalizador sólido de contacto y circuito de regeneración de éste. El circuito del catalizador se ha dibujado en línea de trazos.

El propano puede destinarse a G. L. P (gases licuados) o bien a la sección de craqueo de olefinas, el isobutano es materia fundamental para la producción de gasolinas alcohiladas de alta calidad, y finalmente el n-butano pasa a incrementar los G. L. P. o a la instalación de fabricación de butadieno, por craqueo directo, para obtener cauchos por los mismos métodos puestos a punto antes por la Carboquímica.

TABLA 3

Métodos y productos de craqueo térmico

Denominación	Materia de partida	Producto principal	Temp. °C	Presión alta
Craqueo al vapor	Etano	Acetileno	1000—1400	0,2—0,5
»	»	Etileno	800—850	0,2—2,0
»	Propano, butano	Etileno, propileno	770—800	0,2—2,0
»	Gasolina ligera	Etileno, Propileno	720—750	0,5—2,0
»	Gasóleo ligero	Etileno, propileno	720—750	0,5—2,0
Reformado	Gasolina pesada	Aumento de I. O.	510—580	20—70
Craqueo	Gasóleo ligero	Gasolina con buen I. O.	460—510	20—70
«Vis-Breaking»	Fuelóleo pesado	Reducción de viscosidad	440—480	20—70
Coquización	Fuelóleo pesado	Gasolina, gas, coque	480—530	1—10

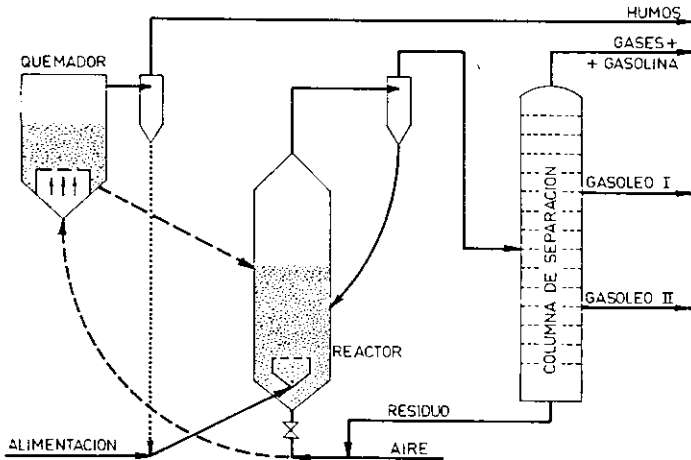


Fig. 10

El hidrógeno resultante se destina en algunos casos, como se ha dicho, a la planta de síntesis de amoníaco aneja a la refinería, aunque la tendencia actual toma en cuenta su utilización en otros procesos de refino, como el hidrocaqueo. Por este motivo algunas refinerías presentan un balance total de hidrógeno deficitario, que ha de ser compensado con la producción de hidrógeno por «craqueo húmedo» de alguna de las fracciones, del metano, por ejemplo.

Generalmente, la demanda de destilados de intervalo de destilación superior al de la gasolina-auto, no coincide con el balance de los distintos cortes o fracciones del crudo. Consecuentemente, la mayoría de las refinerías disponen de unidades de craqueo catalítico que permiten transformar las fracciones pesadas en un tipo de gasolina que por su contenido en insaturados presentan índices de octano elevados.

En el transcurso del craqueo catalítico se forman otros compuestos insaturados de intervalos de ebullición inferior a las gasolinas que constituyen la mayor proporción de las olefinas ligeras producidas en la refinería y a disposición de la industria química.

Cuando el residuo carbonoso a que daría lugar una determinada fracción sometida a craqueo catalítico es excesivamente alto, se somete a un craqueo térmico que puede tener como objetivo la reducción de viscosidad en un fuelóleo pesado y al propio tiempo proporciona cierta cantidad de gasolinas junto con gases fuertemente insaturados.

En los últimos años se van incorporando a los procesos de refino el craqueo hidrogenante; el gasóleo de vacío o los destilados medios se revalorizan a Keroseno, gasóleo de carretera o gasolina, en proporciones que dependen de las condiciones del tratamiento.

La fracción olefínica C_3 y C_4 excedente, pasa a la unidad de polimerización catalítica. Como producto se obtiene una gasolina de naturaleza olefínica, de índice de octano elevado pero de poca estabilidad. Este proceso conduce también a la obtención de propileno trímero o tetramero, utilizables como materia prima de compuestos oxigenados mediante la síntesis «oxo», o para la obtención de los detergentes aniónicos de mayor venta (dodecibencenosulfonato sódico).

Las gigantescas instalaciones de las refinerías actuales, con capacidad de tratamiento que por término medio oscilan entre 5 y 10 MM de Tm/año, son, no obstante, insuficientes para asegurar el beneficio de la economía de escala de todas las fases del refino. Por ello, hay que seleccionar las etapas de los procesos y las variables de las operaciones con que cuenta la refinería a fin de obtener la dimensión y grado de utilización óptimo en función del mercado.

La demanda relativa de los productos, bien petroleoquímica o energética, y la economía de escala de las unidades integrantes son los factores que condicionan la estrategia del refino.

La figura 11 es una representación esquemática del craqueo realizado con objetivos puramente petroquímicos, es decir, para suministrar materias primas olefinicas o aromáticas a las plantas químicas.

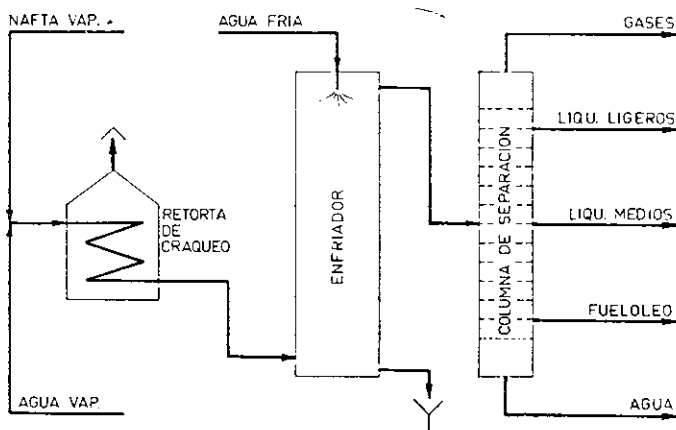


Fig 11

En cuanto a las materias de partida y fines del craqueo se pueden considerar, en líneas generales, dos casos bien distintos: en Europa y Japón, con menor densidad automovilística, las gasolinas de bajo índice de octano y parafínicas («naftas») se destinan al craqueo con fines petroquímicos. En Estados Unidos, la demanda de gasolinas es mucho más alta, por lo que las naftas se «reforman» catalíticamente, para obtener gasolinas de calidad, mientras las fracciones pesadas se craquean para obtener los gases olefinicos y los aromáticos que demanda la petroquímica.

Aunque cuantitativamente ambos extremos son bien distintos, sí es evidente que, desde el punto de vista cualitativo, la refinería pudo transformarse en 30 años en la fuente de materias primas más variadas y baratas para la industria química. De ahí la enorme significación económico-química del petróleo en la época actual.

LA PETROLEOQUÍMICA

Durante los años treinta, solamente tres compañías americanas utilizaban los subproductos de las refinerías de petróleo o el gas natural como materia prima para las síntesis químicas.

No se producía ninguna sustancia que no hubiera sido preparada con anterioridad a partir del alquitrán de hulla o por procedimientos

de fermentación de azúcares o destilación de la madera; incluso inicialmente lo que se pretendió fue llegar a los mismos resultados, sin más diferencias que los mejores costes de la materia prima y al amparo de una situación del mercado muy favorecida por la industria automovilística en plena expansión y con demanda creciente no sólo de gasolina y lubricantes, sino también de caucho, tejidos, pinturas y lacas. Toda esta demanda compleja pronto desbordó las posibilidades de la Carboquímica y la Agroquímica y realimentó la expansión del mercado químico-petrolero.

Así, por ejemplo, en la industria del automóvil la sustitución de las pinturas de nitrocelulosa y el empleo de disolventes como butanol y ésteres (acetato de etilo y acetato de butilo) de origen petroquímico, durante la década de los años 30, permitió integrar la operación de pintado en la cadena de montaje, con lo que desapareció uno de los últimos obstáculos para la producción total en serie de los automóviles. En consecuencia, se obtuvieron más baratos, se vendieron más, y se creó una demanda acelerada de materias primas a las refinerías.

Otro caso interesante fue el de la protección de los sistemas de refrigeración de los riesgos de las heladas. Se utilizaban distintos anticongelantes como glicerina y metanol, hasta que se ensayó el glicol etilénico que venía empleándose para evitar la congelación de la dinamita y los riesgos que debido a la sensibilidad al choque presentan estos explosivos en tal estado, y que se obtenía fácilmente y sin tasa a partir del etileno petroquímico.

Otro tanto ocurre en el campo de los «plásticos», especialmente termoplásticos, derivados numerosísimos del doble enlace tipo vinílico. Es el caso, por ejemplo, del polietileno. Cronológicamente, el primer termo-plástico fabricado a escala industrial, hacia 1935, fue el polimetacrilato de metilo, que se comercializó con los nombres de *Lucite* (Du Pont Neumours) *Perplex* (I. C. I.) y *Plexiglas* (Rohm y Haas). Su descubrimiento data del siglo XIX y la primera patente de obtención fue presentada en 1912.

Los descubrimientos de otros plásticos, beneficiarios de la experiencia adquirida en la fabricación y moldeo, se suceden con un ritmo más rápido: poliacrilonitrilo, poliestireno, polivinílicos varios, politetrafluoretileno y otros muchos, de los que merecen una mención especial las poliamidas por ser la base de las primeras fibras realmente artificiales conseguidas por el hombre.

La perfección alcanzada en la arquitectura molecular permite a los químicos modificar las características del polímero mediante el cambio de las condiciones de polimerización de aditivos en el proceso de moldeo o elaboración de los productos finales. Es de recordar aquí la contribución del Dr. Natta para el logro de polímeros estereoespecíficos, de singulares propiedades.

Así resulta que entre plásticos, cauchos, fibras, detergentes, disolventes, pinturas, etc., se cubre en la actualidad una amplísima gama

de usos y aplicaciones sin los que no es posible representar la vida moderna.

La industria petroquímica comenzó, pues, siguiendo líneas de sustitución de su predecesora, la carboquímica. Nace, como ésta, para el aprovechamiento de sustancias residuales y subproductos, y amparada por el bajo precio de sus materias primas adquiere una importancia creciente que hace que estas materias primas pasen de su condición de residuos a ocupar una posición destacada en la vida económica. Productos como el etileno, propileno, acetileno, benceno, etcétera, son hoy cabeza de serie de un cuantioso número de productos finales: detergentes, plaguicidas, herbicidas, colorantes, fibras sintéticas, elastómeros, plásticos, pinturas y barnices, explosivos y otros muchos productos cuya utilización afecta a todos los sectores y actividades. La tabla 4 recoge la interacción de la Petroquímica en otros sectores productivos, expresada en tanto por ciento de su producción vertido en las áreas industriales que se indican.

T A B L A 4

Sectores industriales de los productos petróleo-químicos

Industria receptora	%	D e s t i n o
Automóvil.....	17	Anticongelantes, aditivos varios.
Agricultura.....	16	Fertilizantes (NH ₃), pesticidas.
Caucho.....	14	Elastómeros, Copolímeros.
Mat. para pinturas..	12	Resinas alquílicas, acrílicas y vinílicas, disolventes, diluyentes, etc.
Plásticos (moldeo) ..	10	Todos los tipos.
Fibras.....	7	Nitriloacrílicas, polivinílicas, poliésteres, poliimidas.
Explosivos.....	3	Derivados aromáticos, de glicerina, de pentacritita, urotropina, etc.
Varios.....	21	Tensoactivos varios, propegoles, etc.

Hoy la industria petroquímica representa en valor un 65 por 100 de la Química total, y un 10 por 100 en cantidad. Estas cifras indican que los productos petroquímicos son más «nobles» que el promedio. Una característica de esta industria es su enorme variedad; son más de 3.000 los productos que vende.

En Europa comenzó su desarrollo hacia 1950; en España, unos diez años después. Todavía hoy absorbe en los países de mayor auge

económico una fracción importante del capital generado. La tabla 5 da idea de esta canalización de las inversiones en los últimos años, y de su carácter progresivo.

TABLA 5

Fracción del PNB invertido en Industria Petroléuquímica, en distintos países

Año	EE. U.U.	Mercado Común
1945	0,5	0
1950	0,6	0,2
1955	0,8	0,3
1960	1,25	0,5
1965	1,50	1,2
1970	1,60	1,4

El perfil de esta industria ha estado determinado, como se ha dicho, por la baratura de sus productos y por la enorme disponibilidad de sus materias primas, pues si bien es cierto que no son materias independientes o directas, no es menos cierto que la Petroléuquímica no llega a absorber el 3 por 100 del petróleo aflorado ni el 5 por 100 del gas natural extraído. De ahí que la regularidad de suministro pudiera darse por asegurada y también la posibilidad de montar las instalaciones con un aprovechamiento adecuado del concepto de «economía de escala».

Precisamente por la economía de escala se explica que el hidrógeno, materia clave para la obtención de fertilizantes nitrogenados — NH_3 — bajara de precio un 40 por 100 al sustituirse la electrolisis por la gasificación de carbones, y un 62 por 100 —sobre el último valor— al sustituirse el H_2 de gasificación por el de reformado de gas natural, con lo que prácticamente hoy no funciona ninguna planta de NH_3 que no utilice H_2 obtenido de hidrocarburos, mientras en 1940, en la propia Norteamérica, el 96 por 100 del NH_3 obtenido era de origen carboquímico.

Pero si prácticamente toda la Petroléuquímica es posible, desde el punto de vista técnico, partiendo del carbón, y si la razón principal del predominio químico del petróleo ha sido su precio, a la vista de las circunstancias actuales y de la posible extinción próxima de los yacimientos de hidrocarburos es lógico pensar que la alarma no se haya circunscrito a los utilizadores del petróleo con fines energéticos primarios —centrales térmicas— y secundarios —automóvil—, sino

también al sector químico donde el petróleo tiene el singular papel que hemos esbozado anteriormente.

CONJUNCIÓN DE SOLUCIONES

Esbozadas las posibilidades confluyentes de las materias primas hidrocarbonadas, gases, petróleo y carbones, parece conveniente resumir ahora las razones de la situación competitiva como marco analítico de las posibles soluciones de intersustitución.

Desde un punto de vista general, el gas y el petróleo se extraen más fácilmente que el carbón, por razones de estado físico. Por lo último, el transporte en gasoductos y oleoductos es mucho más económico que la variante menos cara de transporte lejano de carbón, peso a peso, y con más razón si nos referimos a la energía transportada, dado que el carbón tiene menor capacidad calorífica por kilogramo.

Como fuente de energía calorífica se han hecho unos comentarios de carácter global en los capítulos II y III, siendo las razones de bases en que aquellos se apoyan las siguientes: El gas y el petróleo tienen más regularidad de composición que el carbón; no llevan apenas cenizas, que son peso muerto para la extracción, el transporte y el aprovechamiento; se manejan y almacenan mejor; son energéticamente más ricos; y a efectos de su combustión, se pueden precalentar —con lo que se pueden obtener temperaturas siempre más elevadas— y se queman mejor, regulándose mejor la proporción de comburente y necesitándose menos exceso de éste para la combustión completa.

Como materia prima metalúrgica y química el coque está amenazado como reductor siderúrgico por los hidrocarburos gaseosos del petróleo (método HYL, p. ej.) al tiempo que los hornos de cuba baja, van haciendo disminuir la demanda de coque en calidad y cantidad (y con ello la disponibilidad de los subproductos químicos de la coquería: gas de batería y alquitrán); el aprovechamiento del coque y del carbón en general, vía C_2Ca , C_2H_2 , CN_2Ca , parece bloqueada al obtenerse el acetileno fácilmente por craqueo del CH_4 y perder interés la cianamida como abono: las fábricas de gas modernas han resultado más económicas por reformado de naftas, que por vía clásica, lo que es otro motivo para tener que prescindir del coque y de los alquitranes para fines químicos. Las fábricas de gas de todo tipo sufren fuerte competencia por los gases licuados del petróleo («butano») como combustible doméstico, y otro tanto les ha pasado a los semicoques, combustibles sólidos que arden sin humo, por lo que se utilizaron para fines domésticos. El gas de coquería y el de gasificación, que fueron preciadísimas materias químicas para obtener H_2 y gas de síntesis, han sido desbancados por la sencillez y economía del obtenido por

reformado de naftas que, además, se desulfura mejor, lo que importa mucho para las catálisis en que se basa su posterior aprovechamiento. Y, por último, cabe decir que los hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, xilenos, naftaleno) el fenol e incluso las bases pirídicas se llegaron a obtener fácilmente por vía petroleoquímica, sin el pie forzado de su disponibilidad, que ahora es independiente y prácticamente ilimitada, mientras éstos y todos los productos de la Carboquímica estaban supeditados en cantidad a las necesidades siderúrgicas y de gas de ciudad.

Esta situación de incompetencia del carbón se trató de remontarla en su día racionalizando el arranque del carbón para eliminar la enorme influencia de la mano de obra, cada vez más difícil y más cara. En esta línea cabe decir que en Inglaterra, en Rusia y en Bélgica, donde el peso de los intereses carboneros era —y sigue siendo— muy grande, se recurrió a la máxima automatización (total en Inglaterra) del arranque y extracción; en varios países se estudió y se sigue estudiando la gasificación subterránea, de manera que a bocamina llegue un gas $\text{CO} + \text{H}_2$) que después de purificado de polvo y SH_2 se puede llevar por tubería a las centrales térmicas o a las fábricas químicas. Si esta técnica llega a ponerse a punto será una verdadera revolución o, cuando menos, una tranquilidad por cuanto supone dilatar las disponibilidades de materias primas para la industria química aunque el petróleo llegara a agotarse, pues como se ha dicho, el gas de síntesis permite obtener petróleo y aún producir *directamente* muchas sustancias que hoy son de origen petroleoquímico.

Se ha tratado también de mejorar la obtención de coques metalúrgicos partiendo de carbones no coquizados, de baja calidad y precio.

Se ha pretendido valorizar los alquitranes mejorando la identificación de las especies contenidas —un 50 por 100 sigue estando aún sin identificar— y racionalizar las aplicaciones de cada una. Piénsese que en el llamado Mundo Libre se dispone anualmente, como subproductos de la siderurgia, de medio millón de toneladas de fenantreno, unas 350.000 Tm. de fluorantreno y 200.000 Tm. de pireno, todos ellos contenidos en el alquitrán. Estos productos apenas se aíslan hoy, y sus aplicaciones están muy poco avanzadas.

También se han hecho estudios para aprovechar algo que el carbón ya nos da hecho: su estructura, su compleja estructura, de carácter aromático, como se sabe. Un camino intentado, sin éxito, fue la hidrólisis alcalina de la materia carbonosa: y otro, la oxidación directa a baja temperatura, con aire, para convertir la materia carbonosa en ácidos húmicos, los que neutralizados con amoníaco darían unos humatos amónicos de gran utilidad para la fertilización de suelos, especialmente en aquellas tierras como las españolas tan pobres —o empobrecidas— en materias orgánicas, ocurriéndole que por defecto del complejo edáfico, el abonado inorgánico satura pronto al terreno y

no pueden alcanzarse cosechas tan abundantes como podrían ser, pues resulta superflua la sobredosificación de fertilizantes ya desde un nivel de abonado muy bajo.

Digamos, por último —y como curiosidad—, pues no parece que se trate de aplicaciones de volumen compatible, que en Rusia se han obtenido complejos metal-orgánicos por reacción de los productos de pirolisis del carbón con Si, Ge, Al, Mg, Sn o U. Se obtienen materias parecidas a los plásticos, pero resistentes a temperaturas de 600°. Las derivadas del uranio son impermeables a los rayos gamma de las pilas atómicas, y a igualdad de eficacia son más ligeras que el plomo. Se han utilizado, al parecer, para recubrir el fuselaje de aviones especiales.

En Francia, por su parte, se ha fraccionado ampliamente el alquitrán, obteniéndose productos de gran reactividad sobre las células vivas, dada su semejanza estructural con los esteroides. Unas son cancerígenas, y otras se espera identificarlos por su acción diferencial sobre las células cancerosas. Los profesores Bernard y Pullman piensan que llegarán a poder predecir, por cálculo, las propiedades de muchas grandes moléculas polibencénicas, incluso las hoy no disponibles, y que por modificación química de las existentes se llegará a contar con especies útiles al respecto, hoy desconocidas porque no se dan espontáneamente en la Naturaleza ni en los subproductos como el alquitrán.

Sin embargo, no es fácil que el problema se resuelva con una vuelta atrás. Si hay que retornar al carbón con fines químicos o energéticos, no será calcando las técnicas anteriores, pues la circunstancia es y será distinta, y ya se sabe que técnica y circunstancia forman siempre un binomio coherente a lo largo de la historia de la Humanidad.

La forma particular que adopte la tecnología es todavía imprevisible, pero cabe pensar que disponiéndose de una energía primaria, eléctrica, muy barata, de origen nuclear, la energía secundaria para tracción y calefacción tendrá que derivarse de la primaria bien por su aplicación directa o bien a través de productos químicos obtenidos al amparo de la baratura del kilowatio-hora.

Entre estos productos podría estar el *hidrógeno*, obtenido por electrolisis o el *metanol* sintetizado, por ejemplo, con mezcla gaseosa de CO y H₂ obtenida por gasificación del carbón o del petróleo con vapor de agua y suplementada la dosis de H₂ con el de origen electroquímico.

Destaquemos que la combustión del hidrógeno produce exclusivamente H₂O, con lo que la contaminación es nula y la operación *conservativa*, pues este agua residual cierra el ciclo por el mismo punto donde se comenzó, ya que el H₂ puesto en juego se obtuvo a partir de agua. Podría decirse que el hidrógeno es un combustible ecológicamente perfecto.

Por su potencia calorífica, el H_2 es 6,25 veces superior a la del metanol, 4 veces más alta que la del carbón y 2,8 veces que la de la gasolina. Es fácilmente utilizable en los quemadores ordinarios y también puede utilizarse en los motores de explosión sin mayores trabajos de adaptación.

Si el bajo precio del kilowatio-hora permite disponer de H_2 barato, nada de extraño tendría que la Siderurgia lo utilizara como reductor de los minerales de hierro (en lecho fluidizado) y abandonara el coque, cada vez más endurecido de precio, por el peso de la mano de obra, y por imponer unas inversiones muy elevadas para el montaje de la coquería aneja.

El coste del hidrógeno electrolítico se puede expresar en función del precio de la energía eléctrica mediante la ecuación:

$$C_{H_2} = 3.750 + 62.500 \cdot x \text{ ptas/Tm}$$

en la que x es el precio del kilowatio-hora, en pesetas.

En la tabla 6 se recogen los valores de esta expresión para distintos precios del kilowatio-hora.

T A B L A 6

Precio del H_2 electrolítico (C_{H_2}) en función del precio de la energía eléctrica (x)

C_{H_2} , ptas /Tm	x , ptas./kwh
3.750	0,0
10.000	0.1
22.500	0.3
35.000	0.5
47.300	0,7
60.000	0,9

Los valores de la tabla corresponderían a costes del H_2 electrolítico producido en una planta capaz para 1,1 MM Tm/año que supondría un desembolso del orden de los 15.000 MM ptas. El segundo de ellos se cree fácilmente alcanzable con la nueva política de empleo masivo de la energía nuclear. El último corresponde poco más o menos a la situación de precios actual. La comparación indica cuál es la dirección que debe llevar el esfuerzo de investigadores, industriales y políticos.

Resueltos los problemas de energía primaria y secundaria por las vías atómica e hidrogénica, quedarían las reservas de petróleo, gases hidrocarbonados, carbones y pizarras bituminosas para servir como materias primas químicas, y alejado por mucho tiempo el espectro de la escasez de materias básicas para la industria orgánica.

Burgos, octubre 1974.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBAIGES, J.: *Presente y futuro de la industria del petróleo*. «Quibal», 19, 9, 541 (1973).
- ALLEN L. HAMMOND: *Los riesgos de la energía nuclear*. «Facetas», 6 (3), 103 (1974).
- ALVAREZ GARCILLÁN, M.: *Preguerra y postguerra del petróleo*. «I. Q.», 18, 5, 9 (1972).
- ANGLADA, S.: «I. Q.», 20, 1, 77 (1974).
- ANON: *El tritio del antimundo*. «Las Ciencias», 39 (2), 162 (1974).
- ARMSTRONG, M. E.: *Notes on Hofman's scientific work. Hofmann memorial lectures*. «Journ. Chem. Soc., Transl.», I (1896).
- BOCKRIS, J. y NAGY, Z.: *Electrochemistry for ecologists*. «Plenum» (1974).
- BOCKRIS, J. y SRINIVASAN: *Fuel cells, their electrochemistry*. Mc Graw-Hill (1970).
- BRIGHTMAN, R.: *Perkin and dyestuffs industrie*. «Nature», 177, 815 (1956).
- BROWN, G. G. y CHRISTENSEN, M. L.: *Gasoline and alcohol-gasoline blends*. «Ind. Eng. Chem.», 28, 650 (1936). También: CHRISTENSEN: *Ibid.*, pág. 1089.
- COST, R. L. y GRIMES, P. G.: *Electrolysis as a source of hydrogen and oxygen*. «Chem. Eng. Progress», 63, 4, 56 (1967).
- DÍAZ FERNÁNDEZ, J. L.: *Presente y futuro de la energía en España*. «Quím. e Ind.», 20, 407 (1974).
- ELLIS, C.: *The chemistry of petroleum derivatives*. «The Chem. Cat. Co.», 3.^a ed. (1945).
- ETHEVINGTON, H.: *Nuclear engineering handbook*. Mc. Graw Hill (1958).
- FALTERMAYER, E.: *Clearing the way for new age of coal*. «Fortune», pág. 215 y ss. (1974).
- GLASSTONE, S.: *Ingeniería de reactores nucleares*. Ed. Reverté (1968).
- HABER, L. F.: *The chemical industry during the nineteenth century*. Oxford Univ. Press (1958).
- HABER, L. F.: *The chemical industry 1900-1930*. Oxford Univ. Press. (1971).
- JASINSKI, R.: *High energy batteries*. «Plenum» (1967).
- KRANZBERG, G. M. y PURSELL, C. W.: *Technology in western civilisation*. Oxford Univ. Press. (1967).
- KROEGER, C. V.: *World energy: what future?* «Hydrocarbon Processing», 52, 7, 57 (1973).

- MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES: *Características económicas del empleo de centrales nucleares en comparación con las centrales térmicas convencionales*. CEPE, (1972).
- MINISTERIO DE HACIENDA: Secret. Gral. Técnica. Libro azul sobre los productos petrolíferos (1974).
- MINISTERIO DE INDUSTRIA: Secret. Gral. Técnica. Plan Nacional de Minería.
- MURPHY, G.: *Elements of nuclear engineering*. John Wiley (1961).
- NOGAREDA, C.: *Consideraciones teóricas acerca de la química del motor de hidrógeno*. Ed. Univ. de Salamanca (1973).
- Nucleonics Week*, mayo 30 (1974).
- O. C. D. E.: *Comité de l'environnement. Consequences associées aux politiques relatives aux incidences sur l'environnement de la production et utilisation d'énergie*. Paris, 7 junio 1974. *Id.*, 25 abril 1974.
- O. C. D. E.: *Direction des Affaires Scientifiques. Le effort de R-D des pays membres dans le domaine de l'énergie*. Paris, 10 mayo 1974; 17 mayo 1974.
- OSBORN, E. F.: *Coal and the present energy situation*. «Science», 183, 4124. 477 (1974)
- PASCUAL, F.: *Papel de la energía nuclear en futuras necesidades energéticas*. «Energía Nuclear», 76, 93 (1972).
- PERKIN, W. H.: *The origin of the coal-tar industry and the contribution of Hofmann and his pupils. Hofmann memorial lectures*. «Journ. Chem. Soc., Transl.», I (1896).
- REED, T. B. y LERNER, R. M.: *Methanol, a versatile fuel for immediate use*. «Science», 182, 4119, 1299, 28 dic. 1973.
- RICARD, J. M. y WITMER, P.: *El petróleo. refino y tratamiento químico*. Cepsa, Madrid (1971).
- RONDEST, J.: *Le méthanol dans la course aux combustibles*. «La Recherche», 44, 376 (1974).
- SEABORG, G. T.: *El átomo y las necesidades de energía*. «Facetas», 6 (3), 95 (1974).
- SHERWOOD TAYLOR, F.: *A history of industrial chemistry*. W. Heinemann Ltd. (1957).
- SINDT, H. A., SPIEWARK, I. y ANDERSON, T.: *Cost of power from nuclear desalting plants*. «Chem. Eng. Progress», 63, 4, 41 (1967).
- U. S. BUREAU OF MINES: *Synthetic liquid fuel from hydrogenation of carbon monoxide*. Technical paper, 709 (1948).
- U. S. ATOMIC ENERGY COMMISSION: Report TID-26136, Set. 1972 (Synthetic Fuels Panel).
- UNESA: *Propuesta de plan eléctrico nacional*. Julio 1973.
- VALVERDE, G.: *Experimentos termonucleares y reactores de fusión*. «Energía Nuclear», 76, 113 (1972).
- VIAN, A.: *Química Industrial*. Publ. de la Univ. Complutense, Madrid, 1972, 2.ª ed.; *El pronóstico económico en química industrial*, 2.ª ed., Alhambra (1968).
- WINNACKER, K. y WEINGAERTNER, E.: *Tecnología química*. Vol. III, Ed. Gili (1958).
- ZIEGENHEIM, W. T.: *Chemists disagree on the use of alcohol-gasoline blends*. «Oil Gas Journ.», 15, 23 dic. 1936.
- ZISCHKA, A.: *Pasado, presente y futuro de la energía*. Labor (1960).

FE DE ERRATAS

Pág. 3 — línea 25 — dice 60.000	Debe decir 80.000
» 4 — » 1 — » 10	» » 13
» 4 — » 2 — » 50	» » 66
» 9 — » 21 — » $1.7.10^1$	» » $1.7.10^{12}$