

RECONVERSION DE LA ESTRUCTURA DEL REFINO EN ESPAÑA

Carmen Muñoz del Barrio

INTRODUCCION

EL objetivo de la industria de refino es satisfacer al menor coste la demanda de productos petrolíferos a partir de los crudos disponibles en el mercado. Para cumplir esta función, la industria de refino necesita una determinada estructura, la cual debe evolucionar en el futuro para satisfacer las necesidades crecientes de productos ligeros y medios.

La estructura de refino actual, adaptada al consumo de los años setenta, compuesta esencialmente por unidades de destilación atmosférica y unidades de mejora de productos como el *reforming* de gasolinas, no es suficiente para abastecer una demanda de productos petrolíferos cada vez más ligera, gas-oil y gasolinas, productos de gran valor añadido y escasamente sustituibles, con unos crudos que tienden a su vez a ser cada vez más densos. Por último, al ser una materia prima tan valiosa, debería tender a limitarse su empleo a determinados usos en que es insustituible.

El presente estudio trata de diseñar cuáles podrían ser las directrices que debería seguir la industria del refino en los próximos años.

En el apartado I vamos a exponer los objetivos que perseguimos en este estudio. En este apartado se hace referencia al modelo matemático utilizando,

modelo que se explica con más lujo de detalles en el Anexo.

En el apartado II exponemos los resultados obtenidos, haciendo mención a la nueva capacidad de unidades de conversión que será necesario instalar en las refinerías españolas, y a las inversiones que esto va a suponer para las refinerías.

El apartado III recoge las conclusiones que hemos considerado interesante destacar.

Por último, en el Anexo aparece resumida la metodología que hemos seguido a lo largo de este estudio. Hemos detallado el Modelo de Programación Lineal de la forma más resumida posible, pero no por ello sacrificando el rigor. Por último, aparece el esquema de refino correspondiente al Modelo Lineal utilizado.

I. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El punto de partida de este trabajo es la fuerte dependencia de España respecto del petróleo. Esta dependencia se tradujo, a finales de la década de los setenta, en un porcentaje muy alto de participación del petróleo en el balance energético español: 64 por 100. Siendo esto muy importante, hay que añadir que si debemos proceder a una progresiva sustitución del petróleo en ciertos usos por otras fuentes alternativas de energía (el carbón, la energía

nuclear, la energía solar), tendremos que tener en cuenta que numerosas industrias quedarán notablemente afectadas por el cambio.

En nuestra investigación, la industria objeto de un estudio más detallado ha sido la industria del refino español, industria que será necesario transformar para adaptarla a un contexto que evoluciona día a día. Uno de los objetivos del trabajo es conocer el impacto económico de la sustitución progresiva del petróleo en la industria española de refino.

El instrumento utilizado ha sido un modelo matemático de optimización (1), basado en la programación lineal y desarrollado en el Instituto Francés del Petróleo. Este instrumento nos ha servido de base para responder a numerosas cuestiones que expondré más adelante. Nuestra intención, sin embargo, no ha sido la de predecir el futuro de una forma perfecta o posible, tentativa por otra parte que estaría abocada al fracaso, sino solamente descubrir las grandes líneas que deberían determinar el sentido de la evolución de la industria española de refino a lo largo de la década ya iniciada y en las sucesivas.

Para conocer la sensibilidad de las inversiones futuras en la adaptación de la industria del refino a una variación de los parámetros supuestos importantes, tales como la mayor o menor penetración de la energía nuclear o la de las energías nuevas, hemos creado diferentes escenarios de demanda de productos petrolíferos, dentro del marco general de dos escenarios de demanda global de energía primaria (uno pesimista y otro optimista, de baja y alta

demanda de energía respectivamente).

El modelo de programación lineal nos ha permitido determinar la evolución óptima deseable de la estructura del refino español según los escenarios de demanda que exponemos a continuación:

S1-1990: escenario caracterizado por un moderado crecimiento económico y una fuerte expansión de la energía nuclear.

S2-1990: escenario caracterizado por un crecimiento económico moderado y una moratoria nuclear.

S3-1990: escenario caracterizado por un crecimiento económico fuerte y un desarrollo igualmente fuerte de la energía nuclear.

S4-1990: escenario paralelo al escenario S3-1990, pero diferenciándose de éste en un desarrollo nuclear moderado.

SB-2000: escenario pesimista caracterizado por una débil demanda de energía, por una fuerte participación de la energía nuclear y un crecimiento económico moderado.

SH-2000: escenario optimista caracterizado por una adecuada diversificación de las fuentes energéticas y un crecimiento económico moderado.

Las previsiones de la demanda futura de energía primaria, están basadas en la evolución de un parámetro considerado determinante: el Producto Interior Bruto. Hemos supuesto que existe una relación directa entre crecimiento económico y consumo de energía. Aunque existen estudios orientados esencialmente a la posibilidad de ahorro energético por efecto de una reestructuración social

o económica, este ahorro se traduce en una disminución de la elasticidad, indicador que se utiliza para medir la evolución del consumo de energía al aumentar el crecimiento del PIB.

El estudio de relaciones directas entre el consumo de energía y el agregado económico PIB, muestra que la reducción de las necesidades energéticas a través de una racionalización mayor en el proceso productivo no puede obtenerse si no es disminuyendo la elasticidad del consumo de energía respecto al PIB. Este resultado puede alcanzarse gracias a fenómenos de rendimientos crecientes en la utilización de la energía o de reestructuración industrial que permitan alcanzar un nivel de incorporación de energía menor en la constitución del PIB.

El escenario que utilizamos como referencia es el oficialmente expuesto en el plan energético nacional de julio de 1979, que corresponde a un desarrollo tendencial de la demanda de energía y, dentro de ésta, a un alto consumo de energía nuclear.

II. RESULTADOS

Los resultados obtenidos por aplicación del modelo de programación lineal podemos definirlos en función de dos parámetros: la capacidad de unidades de conversión que será necesario construir en el futuro y la inversión que estas unidades van a requerir.

1. *Importancia de la capacidad de conversión a construir*

La capacidad de conversión necesaria en el escenario S1 para el horizonte 1990, se eleva a 12 millones de toneladas de *cracking* catalítico equivalente (2).

El escenario S2, al contrario que el anterior, resulta menos ambicioso en la construcción de unidades de conversión. La razón se debe en parte a la participación todavía importante del fuel-oil en la demanda total. Las necesidades de unidades de conversión disminuyen en un 33 por 100, lo que representa unas necesidades de 8 millones de toneladas de *cracking* catalítico equivalente para el horizonte 1990.

El escenario S3, caracterizado por una fuerte demanda de productos petrolíferos ligeros, y por una participación de la demanda de fuel-oil débil, se traduce en capacidad de conversión a construir de 14,5 millones de toneladas de *cracking* equivalente al horizonte 1990.

El escenario S4, próximo al anterior, pero con una participación del fuel-oil más importante, arroja unas necesidades de conversión de 9,8 millones de toneladas de *cracking* equivalente en el horizonte 1990.

En el horizonte 2000, los dos escenarios considerados como los más realizables dan necesidades en unidades de conversión muy parecidas. Del escenario SB-2000, caracterizado por una fuerte participación de la energía nuclear y, por consiguiente, por una débil demanda de fuel-oil, teniendo en cuenta además un aumento en la densidad de los crudos importados por España, se deduce una necesidad en conversión de cerca de 19

millones de toneladas de *cracking* equivalente (es decir, 7 millones de toneladas adicionales a partir de 1990).

Para el escenario SH-2000, caracterizado por una mayor diversificación de los recursos energéticos, donde aún el fuel-oil tendría una participación importante, obtenemos unas necesidades en conversión de cerca de 16 millones de toneladas de *cracking* equivalente.

Resumiendo, desde hoy al horizonte 2000 la capacidad de las unidades de conversión deberá aumentar fuertemente. La mayor parte de este aumento tendrá lugar a partir de 1985, pero debería comenzar desde ahora. La estructura del refino español evolucionará hacia un esquema similar al de los países europeos vecinos, en el que la capacidad de las unidades de conversión respecto a la capacidad de destilación atmosférica, pase del 2 por 100 en 1979 al 15 por 100 en 1985, 23 por 100 en 1990 y 32 por 100 en 1995, para llegar al 34 por 100 en el año 2000.

2. *Inversiones necesarias para reestructurar el sector refino*

Las inversiones necesarias para realizar el programa de construcción de las nuevas unidades de conversión varían en proporciones importantes, según los escenarios considerados.

En el escenario S1-1990, cuya estructura de demanda es: productos pesados, 29 por 100; gas-oil, 34,5 por 100, y gasolinas, 17,4 por 100, las necesidades de inversión se elevan a alrededor de 90.000 millones de pesetas (3).

En el escenario S2-1990, cuya demanda es menos severa de-

bido al retraso nuclear, y donde la participación de los productos pesados (4) es de 37,3 por 100, 29 por 100 la del gas-oil y 16,2 por 100 la de gasolinas, la inversión necesaria desciende a cerca de 60.000 millones de pesetas.

Si pasamos al horizonte 2000, nuevas inversiones son necesarias. En el escenario SB-2000 aparece una inversión suplementaria de cerca de 70.000 millones de pesetas, inversión comparativamente mayor debido al tipo de unidades más especializadas y costosas en este horizonte.

III. CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación ha estado centrado en la adaptación, utilización e interpretación de un modelo matemático capaz de simular el complejo sistema de unidades de refino. Nuestra intención, sin embargo, no ha sido la de precisar el futuro de esta industria, hemos intentado simplemente descubrir las grandes tendencias que, en función del horizonte estudiado, deberían determinar el sentido de la evolución de la industria del refino español. La importancia de este trabajo no reside exclusivamente en los datos numéricos sino en la metodología empleada y en el análisis de los diferentes escenarios construidos.

Para adaptar el sistema actual de refino español a un contexto futuro diferente, se podrían emplear varios esquemas. La elección de uno determinado que comprenda varios procedimientos de conversión se realizará en función de criterios técnicos

y económicos y por supuesto serán diferentes de una refinería a otra. Cada refinería deberá hacer un estudio específico en el cual se tenga en cuenta los crudos que va a tratar y la demanda de productos petrolíferos que va a satisfacer.

Inversiones del orden de 90.000 a 170.000 millones de pesetas son relativamente importantes, en particular conociendo la existencia del excedente de capacidad de destilación, situación que no favorece en absoluto la obtención de un beneficio, por otra parte indispensable, para dar a la industria del refino la capacidad de financiación adaptada al tamaño de las inversiones necesarias. Si estas inversiones no se realizan, la industria española de refino deberá recurrir a importar productos ligeros y a exportar productos pesados, solución muy costosa y que iría en contra de la seguridad de aprovisionamiento.

Antes de concluir, se impone hacer una crítica sobre el método elegido. El modelo de refino basado en la programación lineal, es un instrumento muy utilizado en la industria petrolífera y es innecesario resaltar sus méritos. El interés esencial, en nuestro estudio, de un método basado en la modelización de la realidad, está ligado al carácter incierto de los datos de base. Teniendo en cuenta la incertidumbre de estos datos, se considera muy útil disponer de un instrumento que permita tratar un gran número de escenarios diferentes y sobre todo obtener rápidamente una respuesta para cada uno de ellos.

Dada la óptica de largo plazo de nuestro estudio, hemos considerado sobre todo, entre las

soluciones dadas por el modelo, las variables más interesantes, es decir, las que representan la estructura óptima de los equipos a construir para satisfacer una demanda determinada al menor coste.

ANEXO

METODOLOGIA DEL ESTUDIO

El instrumento utilizado en este estudio, y que lo ha hecho posible, ha sido un modelo matemático basado en la programación lineal y desarrollado en el Instituto Francés del Petróleo. Con este modelo se realiza, en una primera etapa, una simulación de una refinería única que representa al conjunto de la industria de refino español, y en una segunda etapa simula dos refinerías, las cuales representan una cierta regionalización basada en una estructura diferente de las refinerías.

A continuación se presenta una descripción general del modelo, en segundo lugar la formulación de una sola refinería, en tercer lugar se describe la representación agregada de la industria de refino español, en cuarto lugar se describe el modelo dinámico para acabar con la descripción de los datos suministrados al modelo.

1. Descripción general del modelo

La programación lineal es una técnica de optimización muy utilizada en la industria del refino. En problemas de gestión a corto plazo para una refinería determinada, esta técnica permite determinar la mejor utilización posible de unos crudos dados, minimizando el coste global de tratamiento.

Sin embargo, la utilización de la programación lineal no se limita a problemas de gestión a corto plazo. Constituye también un instrumento valioso para el estudio de los problemas de inversión y de planificación a largo plazo de las actividades del refino, como son: la comparación de diferentes procedimientos, determinación de una estructura de refino adaptada a un mercado determinado, etc.

No obstante, el análisis económico de una estructura de refino necesita del conocimiento, al menos esquemático, de las condiciones de utilización de las instalaciones. Por ello, es necesario el conocimiento de modelos que son utilizados en la gestión a corto plazo.

Los principios de formulación de un modelo lineal que representan a una sola refinería son expuestos seguidamente, para pasar a continuación a la representación agregada del conjunto de la industria del refino español.

2. Formulación de una sola refinería

Los elementos necesarios para realizar la simulación de la estructura de una refinería son: las variables, la función objetivo y las ecuaciones.

2.1. *Las variables:* Las principales variables del problema representan los flujos de crudos, de productos acabados, correspondientes a cada una de las utilidades posibles de esos productos en el interior de la refinería, siendo también variables las capacidades de las nuevas unidades que hay que construir.

2.2. *La función objetivo:* El objetivo económico es generalmente satisfacer una determinada demanda de productos acabados al menor coste posible. En un estudio de planificación de inversiones, en el que las capacidades de las unidades nuevas a construir sean variables del problema, la función económica comprenderá: los costes variables operativos proporcionales a las cantidades de crudo tratadas, los costes fijos y, dentro de éstos, los costes de inversión asociados a las nuevas unidades de tratamiento a construir.

Como consecuencia de la existencia de economías de escala, estos últimos costes no son proporcionales a las capacidades que hay que construir. Sin embargo, una vez conocido el coste de una capacidad de referencia C_0 , es posible efectuar una linealización partiendo de esta capacidad de referencia.

2.3. *Las principales ecuaciones:* Las ecuaciones que se detallan seguidamente resumen las actividades que se consideran importantes dentro de la estructura de refino.

a) *Ecuaciones de balances-materia:* Expresan la igualdad entre una cantidad disponible de un producto intermedio dado y las cantidades utilizadas correspondientes a las diferentes utilidades posibles de ese producto.

Los rendimientos y las calidades de los productos intermedios son a menudo función del tipo de carga, de la unidad y del crudo utilizado. En ese caso deberá existir un conjunto de ecuaciones para cada tipo de carga, para cada tipo de unidad y para cada crudo considerado.

b) *Ecuaciones de demanda.* Expresan el hecho de que la suma de las cantidades de productos intermedios (1) utilizados para la fabricación de un producto acabado, deberá satisfacer la demanda de consumo de ese producto.

c) *Ecuaciones de calidad:* Expresan la obligación de respetar para cada producto acabado las especificaciones legales correspondientes.

d) *Ecuaciones de capacidad y de disponibilidad:* Traducen las limitaciones de capacidad de las unidades existentes, limitaciones de disponibilidad de crudos, etc.

NOTAS

(1) Modelo que está explicado en el Anexo.

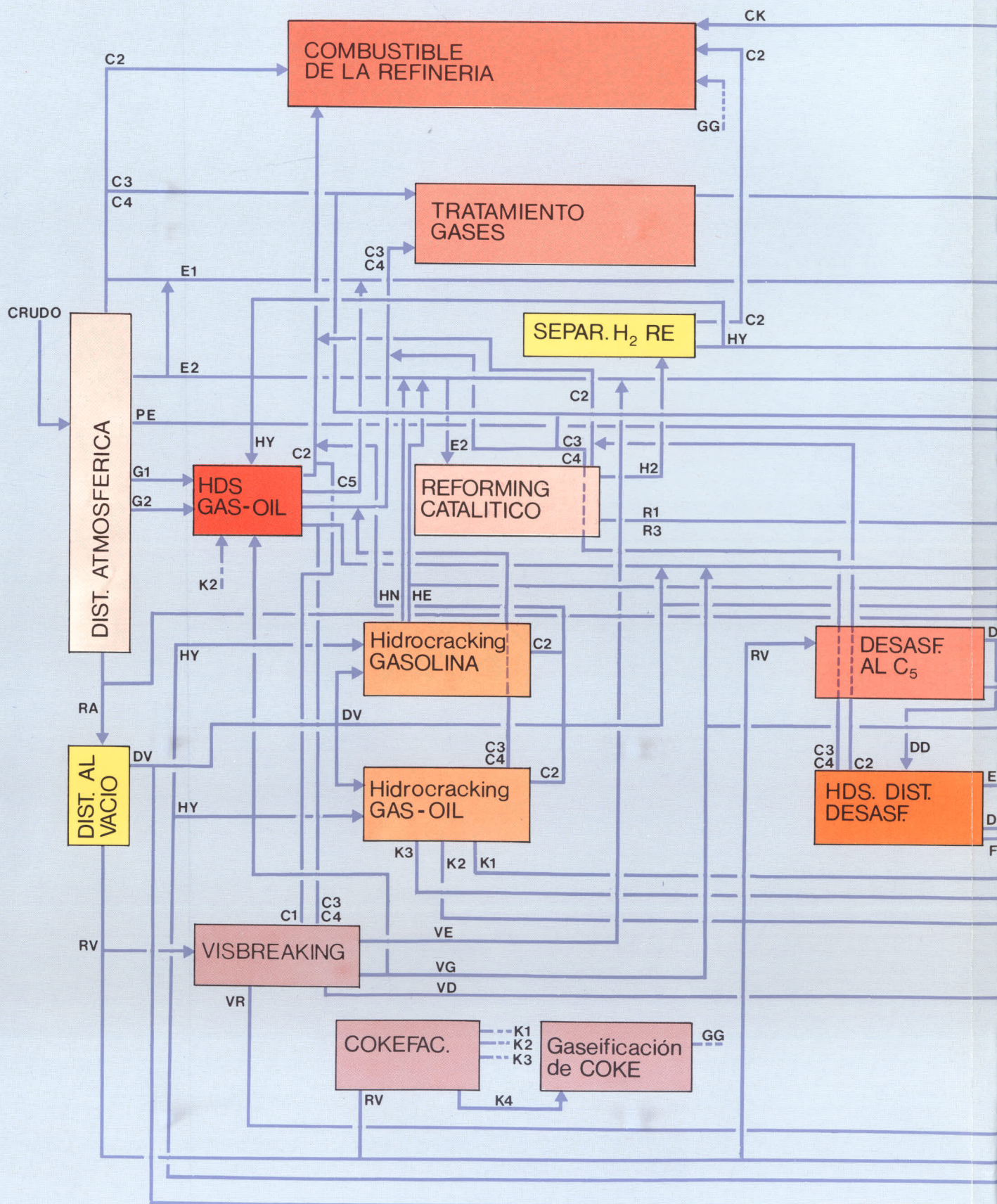
(2) Este término hace referencia a la traducción, siguiendo unos coeficientes determinados, de todas las unidades de conversión, según su mayor o menor grado de conversión de productos pesados en productos ligeros, a una sola que es el *cracking* catalítico.

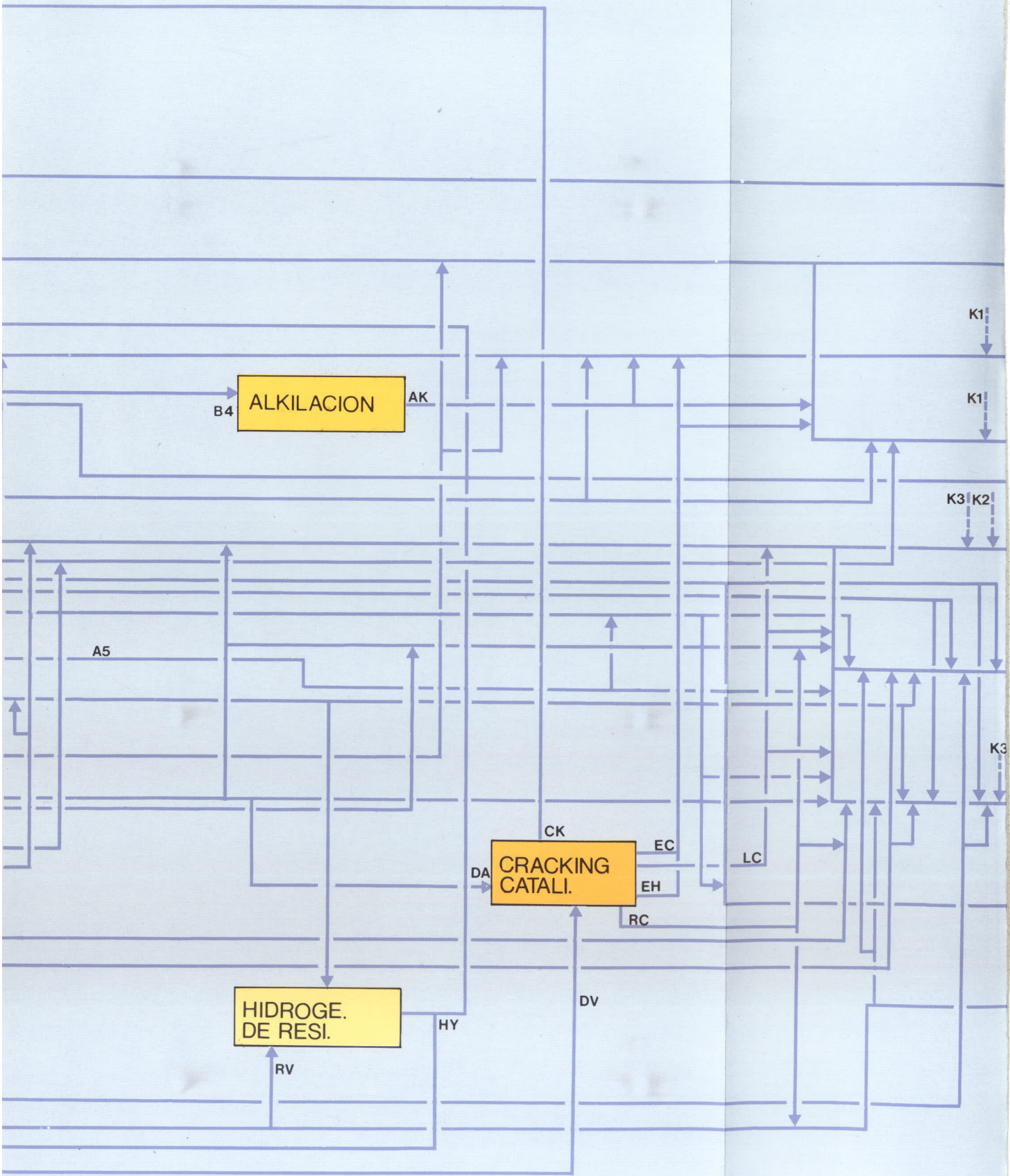
(3) Resultados obtenidos en junio de 1981.

(4) Productos pesados: fuel ligero y fuel pesado, lubricantes, asfaltos.

ESQUEMA DE REFINO

Correspondiente al modelo lineal





→ GPL

→ NAPHTA

→ GASOLINA
ORDINARIA

→ SUPER
CARBURANTE

→ CARBURANTE
REACTOR

→ GAS-OIL
F.O.D.

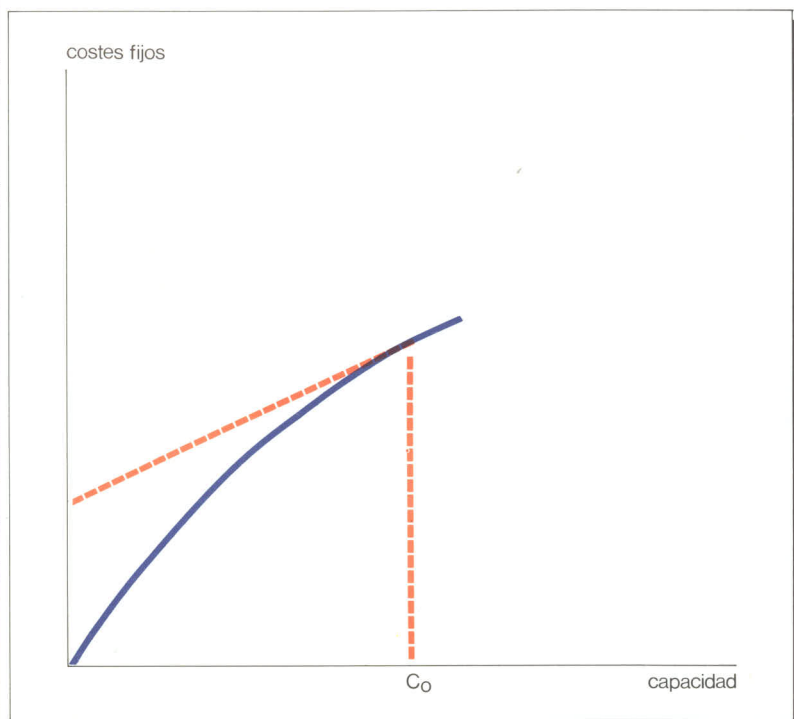
→ FUEL BTS

→ FUEL NORMAL

→ LUBRICANTES

→ ASFALTO

GRAFICO 1



3. Representación agregada de la industria del refino español

En la etapa inicial, la primera aproximación al problema real ha consistido en asimilar el sector del refino a una refinería única cuya función de transformación correspondería a la del conjunto de las refinerías españolas. Este método consiste, no obstante, en distinguir dos tipos de refinerías: una simple y otra que incluye unidades de conversión.

Con objeto de obtener una formulación parecida a la de estas dos refinerías hemos modelizado una sola unidad de destilación atmosférica (2), la cual alimenta separadamente unas unidades de mezcla de productos acabados (3), utilizando, o bien una sola unidad de *reforming* para las gasolinas ligeras, o bien un conjunto más complejo de unidades de conversión (incluido el *reforming*). En este Anexo aparece el esquema de refino correspondiente al modelo lineal utilizado y a esta formulación concretamente.

El segundo método consiste en distinguir y modelizar dos refinerías separadamente. Una de las refinerías es considerada pequeña o de valor estratégico especial (4) para que pueda admitir la construcción de unidades de conversión. La otra es considerada de

gran tamaño o estratégicamente bien situada, para que se admita la posibilidad de convertirla.

Este método está más próximo a la realidad, si se admite que no sería necesario construir unidades de conversión en todas las refinerías españolas, dado que hay refinerías que están bien adaptadas a la estructura de demanda de su zona de influencia, o bien porque tienen un tamaño inferior al mínimo rentable para la construcción de unidades de conversión, o bien porque el acceso a la inversión en un momento de crisis económica lo hace muy difícil.

La representación más o menos ajustada a la realidad de estos dos tipos de modelos se mide a través del estudio de los costes marginales obtenidos. Si comparamos los costes marginales de producción a largo plazo, correspondientes a diferentes tipos de refinerías, se observan diferencias muy importantes (este estudio lo hemos realizado en el caso español). Un factor explicativo se encuentra en los valores obtenidos por la parte que representa el fuel-oil en la producción total.

Si se efectúa una parametrización de la demanda de fuel y se estudian los costes marginales de los productos acabados, observamos que:

- Cuando se disminuye por debajo del 30 por 100 la parte del fuel-oil en la producción, el coste marginal de este producto disminuye muy rápidamente en una refinería simple (destilación + *reforming*).

- Por el contrario, en una refinería compleja (destilación + *reforming* + unidades de conversión) el coste marginal a largo plazo del fuel disminuye de una forma menos brutal, si descendemos por debajo del 30 por 100 la parte de fuel en la producción total. El excedente de fuel se valoriza con las unidades de conversión.

Estos mecanismos explican que los precios existentes en el mercado del fuel se sitúen generalmente a un nivel inferior, respecto a los obtenidos con un modelo que represente el conjunto de la industria del refino como una refinería única cuya estructura estaría perfectamente adaptada a la demanda.

Es por consiguiente más representativa la segunda modelización adoptada. Al modelizar dos refinerías por separado, una simple y la otra compleja, encontramos una estructura de costes marginales más próxima a la realidad. Cuando la producción de fuel disminuye, el coste marginal disminuye por debajo del coste marginal del fuel a estructura adaptada a la demanda.

4. Modelo dinámico o multiperíodo

El objetivo de esta modelización, es tener en cuenta las hipótesis de evolución en el futuro de los diferentes parámetros utilizados como datos:

- Estructura de los consumos de productos petrolíferos.
- Calidades impuestas a los productos acabados.
- Costes (por ejemplo, el progreso técnico entraña una disminución del coste de inversión y sin embargo la inflación produce el efecto contrario).
- Características del aprovisionamiento de petróleo crudo.

El modelo multiperíodo se compone esquemáticamente de varios modelos. Cada modelo es representativo de un período, cada período corresponde a un número de años, cuya demanda es la media representativa del período.

El último período tiene una duración infinita, lo cual permite resolver el problema de la estimación del valor residual de los equipos no obsoletos al final del período estudiado.

El objetivo de la optimización es minimizar la suma actualizada de todos los costes que intervienen en la operación del refino y que son los siguientes:

a) Costes proporcionales a la creación de nuevas capacidades: comprende el coste de inversión, más el coste de reemplazamiento al infinito, actualizados al año de partida.

b) Costes proporcionales a las capacidades totales de las unidades: corresponde

a la suma actualizada de los costes fijos operativos durante el período de estudio.

c) Costes proporcionales al tonelaje tratado: representan los costes variables operativos.

La unión entre los submodelos periódicos se efectúa por medio de ecuaciones de evolución del conjunto de instalaciones expresadas de la forma siguiente:

$$A_i^t = \alpha_{io}^t U_i^o + \sum \alpha_{ik}^t U_i^k$$

donde:

A_i^t = Capacidad disponible del equipo i en el período t.

U_i^o = Capacidad existente al iniciarse el estudio.

U_i^k = Capacidad del equipo i construido en el período k.

α_{ik}^t = Coeficiente de disponibilidad en el año t de un equipo i construido en el período k. T es el horizonte de estudio.

5. Los datos del modelo

Los datos que se consideran básicos para introducir en el modelo son: los crudos, la demanda de productos petrolíferos, las calidades que afectan a estos productos, los intercambios con el exterior y, por último, las unidades de tratamiento que configuran la estructura de refino.

5.1. *Aprovisionamiento de crudos:* El modelo admite simultáneamente nueve crudos diferentes, pero esto aumenta considerablemente el tiempo de cálculo. Por ello, y a través de la utilización de componentes principales, seguida de una regresión lineal clásica, hemos limitado a tres el número de crudos utilizados en nuestro modelo.

5.2. *Demanda de productos acabados:* La demanda introducida en el modelo ha exigido un estudio específico, dada la importancia que tiene sobre los resultados. Para ello hemos realizado una previsión de la demanda, siguiendo el método de escenarios, para dos horizontes: 1990-2000.

Esta demanda está expresada en cantidad de productos acabados, en cuyo caso la refinería debe fabricar al menos la cantidad exigida de cada producto.

5.3. *Especificaciones que afectan a los productos acabados:*

— Especificaciones para las gasolinas, como son: el octanaje, la tensión vapor, etcétera.

— Especificaciones para gas-oil y fuel-oil, como son: el porcentaje en azufre, densidad, viscosidad, punto de congelación, etc.

5.4. *Intercambios con el exterior:* En una primera etapa, sólo hemos previsto la importación de gases licuados del petróleo, por ser deficitarias las refinerías españolas. Sin embargo, existen varias opciones: im-

portación de productos semielaborados, de productos acabados, etc.

5.5. *Unidades de tratamiento susceptibles de constituir la estructura del refino:* Un número de sesenta unidades pueden ser introducidas en el modelo. Nosotros hemos reducido este número a las siguientes unidades:

a) *Unidades generales:* Esas unidades son la destilación atmosférica y la unidad de tratamiento de gases, unidades básicas en toda refinería.

• Destilación atmosférica.—Esta unidad de refino separa el crudo en varias fracciones o cortes que constituyen la materia prima de otras unidades que las transforman en productos comerciales.

• Unidad de tratamiento de gases.—El principio de esta unidad consiste en corregir la mala separación en fracciones ligeras que contienen los productos obtenidos en la destilación inicial, *reforming* y otras.

b) *Unidades de tratamiento de gasolinas:* El *reforming* catalítico es una unidad del esquema de refino que realiza la transformación de uno de los cortes del crudo, producido en la destilación atmosférica, en carburante, con un índice de octano elevado.

c) *Unidades de tratamiento de destilados y residuos medios y pesados:* Este tipo de unidades realiza diferentes funciones, que van desde la desulfuración de los destilados medio y pesados a la reducción de la viscosidad mediante un *craqueo* de los residuos de la destilación. Las unidades que hemos considerado en el modelo son las siguientes: hidrosulfuración de gas-oil, destilación al vacío, desasfaltado, *cracking* catalítico, *hidrocracking*, *visbreaking* y *coking*, cuya descripción más detallada se saldría del marco de este artículo.

NOTAS AL ANEXO

(1) Llamamos productos intermedios a los semielaborados que deben seguir un último proceso de transformación o mejora.

(2) Unidad básica en una refinería.

(3) Como la unidad de *reforming* catalítico.

(4) Por ejemplo, si está situada cerca de un punto de fuerte consumo de productos pesados.