

LA FLEXIBILIDAD DE SUSTITUCION DEL PETROLEO EN EL SISTEMA ENERGETICO ESPAÑOL

En el presente trabajo se describe brevemente y se presenta una aplicación del modelo MARKAL de la Agencia Internacional de la Energía.

Se considera un escenario base, equivalente al definido en la revisión del PEN, obtenido minimizando el coste total acumulado del sistema energético español entre los años 1980 y 2020, en el que se observa cómo el petróleo va siendo sustituido fundamentalmente por carbón y energía nuclear. El autor, **Vicente Gil Sordo**, analiza también otro escenario en el que se minimizan las importaciones totales de petróleo durante el citado período de tiempo, escenario que arroja lógicamente un coste más elevado que el anterior, puesto que los productos petrolíferos van siendo sustituidos mediante el empleo de tecnologías de coste más elevado. Se comenta, también, el efecto que tendría sobre el sistema energético una intensificación del programa de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.

Finalmente, el autor realiza comparaciones entre los valores de elasticidades de sustitución obtenidos en España y en otros países, y analiza, a nivel sectorial, las posibilidades de ahorro de combustibles derivados del petróleo.

1. INTRODUCCION

DESDE que apareció la crisis energética en 1973-74, los países industrializados han tratado de orientar sus políticas energéticas hacia escenarios con menores consumos relativos de energía y buscando, sobre todo, una mayor seguridad en sus abastecimientos. Estas estrategias energéticas se han analizado dentro del marco de las diversas instituciones internacionales.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) creó, en 1976, un Grupo de Trabajo para rea-

lizar un análisis de los sistemas energéticos de las naciones pertenecientes a ella, con objeto de definir una estrategia común a todos estos países. Importantes cantidades de recursos están involucradas en los planes de desarrollo energético nacionales, por lo que una coordinación y cooperación a nivel internacional de las actividades de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías es fundamental para conseguir una más efectiva y rápida evolución de las mismas. Este proyecto de análisis de sistemas ha desarrollado durante los dos últimos años un modelo de planificación

energética llamado MARKAL, contracción de las palabras inglesas *Market Allocation*, que está siendo una «herramienta» básica para la consecución del objetivo anteriormente señalado.

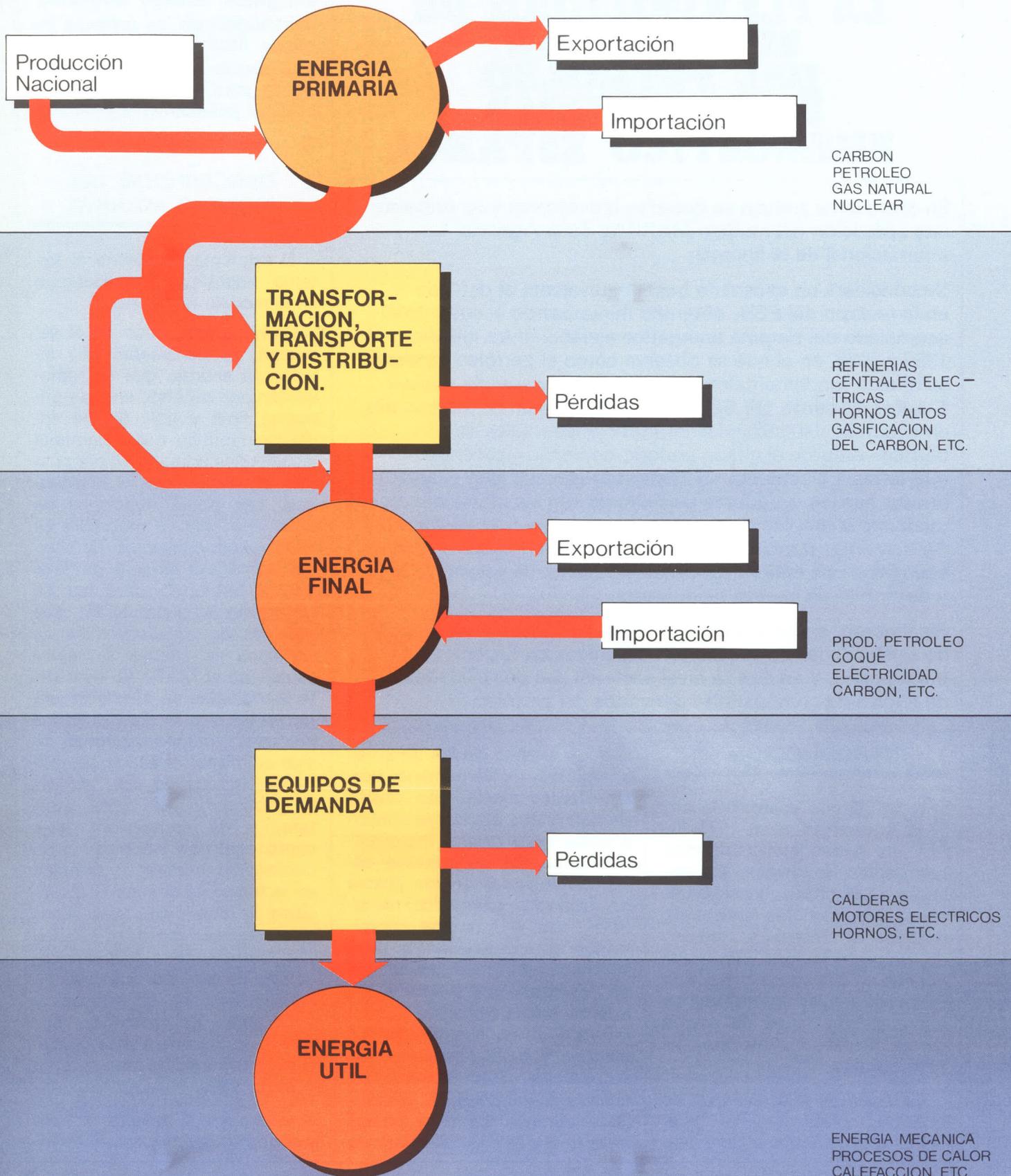
2. DESCRIPCION DEL MODELO MARKAL

El esquema 1 muestra el sistema energético representado en el modelo MARKAL.

Como puede verse en el esquema, se consideran tres niveles de energía que se representan por círculos: energía primaria, final y útil. Se ha supuesto también que solamente las energías primaria y final pueden ser exportadas o importadas. Las transformaciones de un tipo a otro se muestran en rectángulos: conversión de energía primaria a final y de final a útil, habiendo pérdidas de transporte y distribución. Los sistemas de transformación de los tipos de energía se representan en el MARKAL mediante tecnologías de *abastecimiento*, en las que se distinguen los procesos (transformaciones físico-químicas) tales como refinerías, hornos de cok, plantas de gasificación del carbón, etcétera, y de conversión, tales como centrales eléctricas o de calefacción urbana, o también en la forma de aparato o dispositivo de demanda, tales como quemadores, motores eléctricos, hornos, etc., definidos cada uno de ellos por sus características técnicas, económicas y ecológicas. Se representa asimismo la importación, exportación y producción nacional de combustibles.

El esquema 2 muestra el *input* y el *output* del modelo. El MAR-

**ESQUEMA 1
SISTEMA ENERGETICO CONSIDERADO
EN EL MARKAL**



KAL es un modelo de programación lineal y debe especificarse el siguiente *input*:

1) Previsión de la demanda de energía útil.

2) Caracterización de las tecnologías energéticas mediante los correspondientes parámetros técnicos, económicos y ecológicos, tanto para las tecnologías ya existentes como para las que se prevé estén disponibles comercialmente en el futuro.

La estructura del modelo es muy flexible, por lo que el usuario puede fácilmente alterar el número de tecnologías a considerar, así como la estructura y el grado de agregación de los sectores de la demanda.

3) Disponibilidad de recursos energéticos.

Para cada recurso energético nacional ha sido definida su disponibilidad máxima y mínima por período, su coste de extracción y el valor estratégico de su reserva.

4) Limitaciones en la tasa de crecimiento y en los niveles de implementación de las nuevas tecnologías.

La salida del modelo incluye, entre otros valores, los flujos energéticos de todo el sistema, los diversos costes del mismo, la evolución de la capacidad instalada de cada tecnología, los niveles globales de emisiones ambientales, los consumos anuales de los recursos energéticos nacionales, las importaciones y exportaciones de recursos energéticos y los «precios sombra» (1) de cada una de las variables sujetas a restricciones en el sistema energético.

Por otra parte, la estructura del sistema energético puede ser

optimizada por el modelo con arreglo a diferentes funciones objetivo: minimización del coste total del sistema energético, minimización de las importaciones de petróleo, maximización de la utilización de energías renovables, etc.

3. ANALISIS DE LA INTERDEPENDENCIA ENTRE LAS IMPORTACIONES DE PETROLEO Y EL COSTE TOTAL DEL SISTEMA ENERGETICO

En primer lugar, se optimiza con el modelo MARKAL la estructura del sistema energético español, tomando como función objetivo la minimización del coste total del sistema a lo largo del período 1980-2020; a esta estructura óptima corresponderá un determinado nivel de importaciones de petróleo. Como la previsión utilizada de los precios del crudo es superior a la de cualquier otra materia energética convencional, el nivel de importaciones elegido es el me-

nor posible desde el punto de vista económico.

La evolución estructural del consumo de energía primaria resultante se recoge en el cuadro número 1. En él puede verse que el petróleo pasa de representar, aproximadamente, un 68 por 100 en 1980 a poco más del 33 por 100 en el año 2000.

Este escenario, de estructura muy parecida al recogido en la última revisión del Plan Energético Nacional, se va a considerar como base para la comparación con otros, por lo que en el gráfico 1, en donde se representa la curva balance Coste/Importaciones acumuladas de petróleo, vendría representado por el punto A de coordenadas (100, 100).

A continuación se estudia un segundo escenario, tomando ahora como objetivo la minimización de las importaciones acumuladas de petróleo durante el período estudiado; se obtendrá un coste del sistema energético que será evidentemente mayor que el obtenido en el escenario anterior, ya que éste era el de menor coste económico (punto B del gráfico 1). Este escenario supone un incremento de

CUADRO N.º 1

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA

	Año 1980 (%)	Año 1990 (%)	Año 2000 (%)
Combustibles sólidos	18,5	22,5	26,2
Combustibles líquidos	68,0	45,2	33,8
Gases	2,5	6,0	6,9
Energía nuclear	1,5	16,1	25,9
Energía hidráulica y otras renovables ...	9,5	10,2	7,2
TOTAL	100,0	100,0	100,0

ESQUEMA 2 ENTRADAS Y SALIDAS DEL MODELO MARKAL

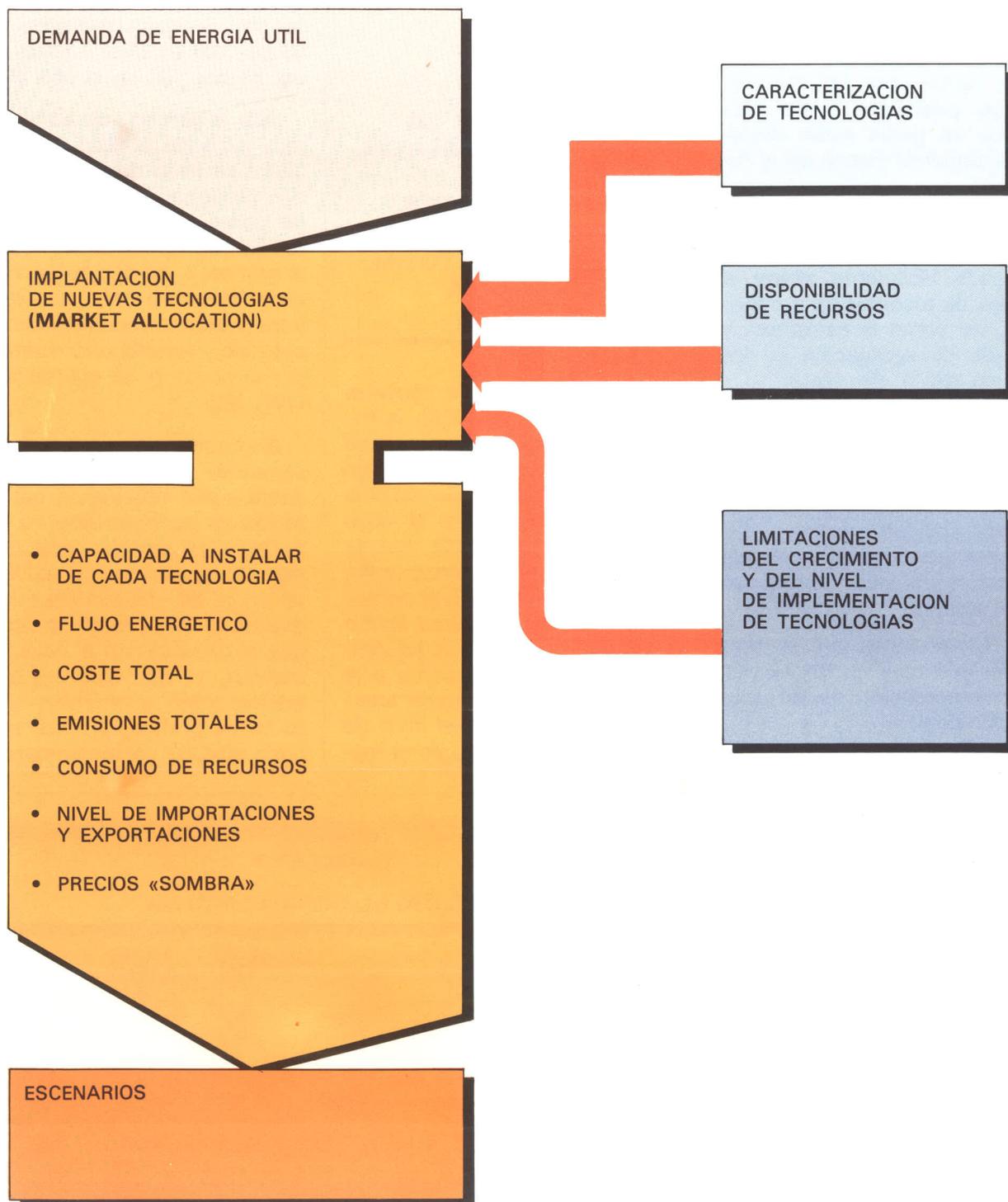
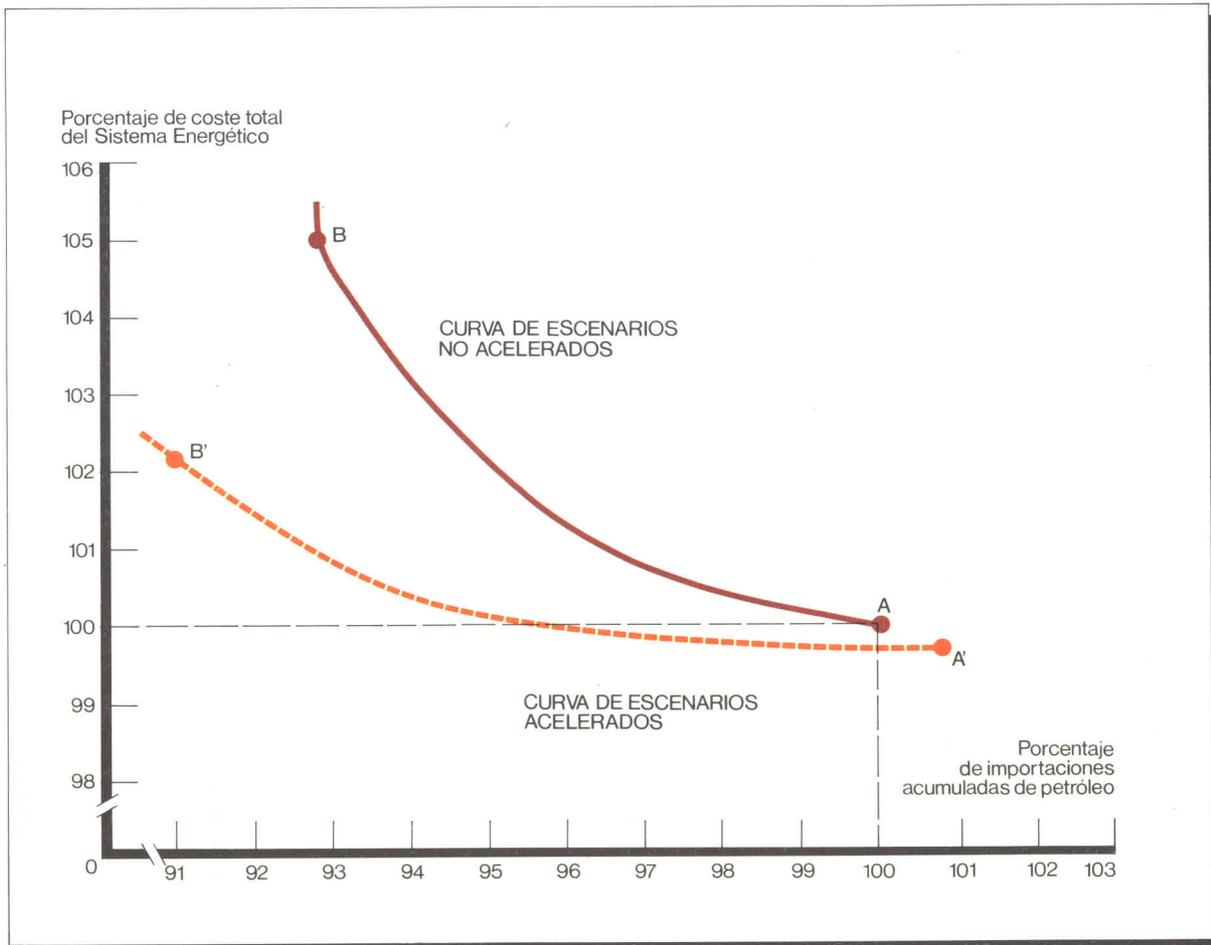


GRAFICO 1
CURVA BALANCE COSTE/IMPORTACIONES PETROLEO



aproximadamente el 5 por 100 de la función económica (costes totales actualizados del período), para una reducción de aproximadamente un 7 por 100 en las importaciones acumuladas de petróleo.

Todos los escenarios que contemplen unas importaciones acumuladas de petróleo de valor comprendido entre los dos indicados anteriormente, tendrán unos costes totales que estarán

asimismo comprendidos entre los correspondientes a los dos escenarios extremos citados (puntos A y B). La representación gráfica de los puntos correspondientes a estos escenarios produce una curva como la mostrada en trazo continuo en el gráfico 1. Al ir desplazándonos sobre esa curva de derecha a izquierda, vamos pasando por puntos correspondientes a escenarios en los que se va disminuyendo la cantidad de pe-

tróleo importado, sustituyéndolo mediante el empleo de otras tecnologías y materias energéticas, hasta alcanzar un punto en el que ya no es posible disminuir más las importaciones de crudo sin dejar de satisfacer la demanda especificada para uno o más subsectores. Como este petróleo va siendo sustituido por tecnologías y energías cada vez más caras, al recorrer la curva de derecha a izquierda, el «precio sombra» (1) del pe-

tróleo importado va aumentando progresivamente.

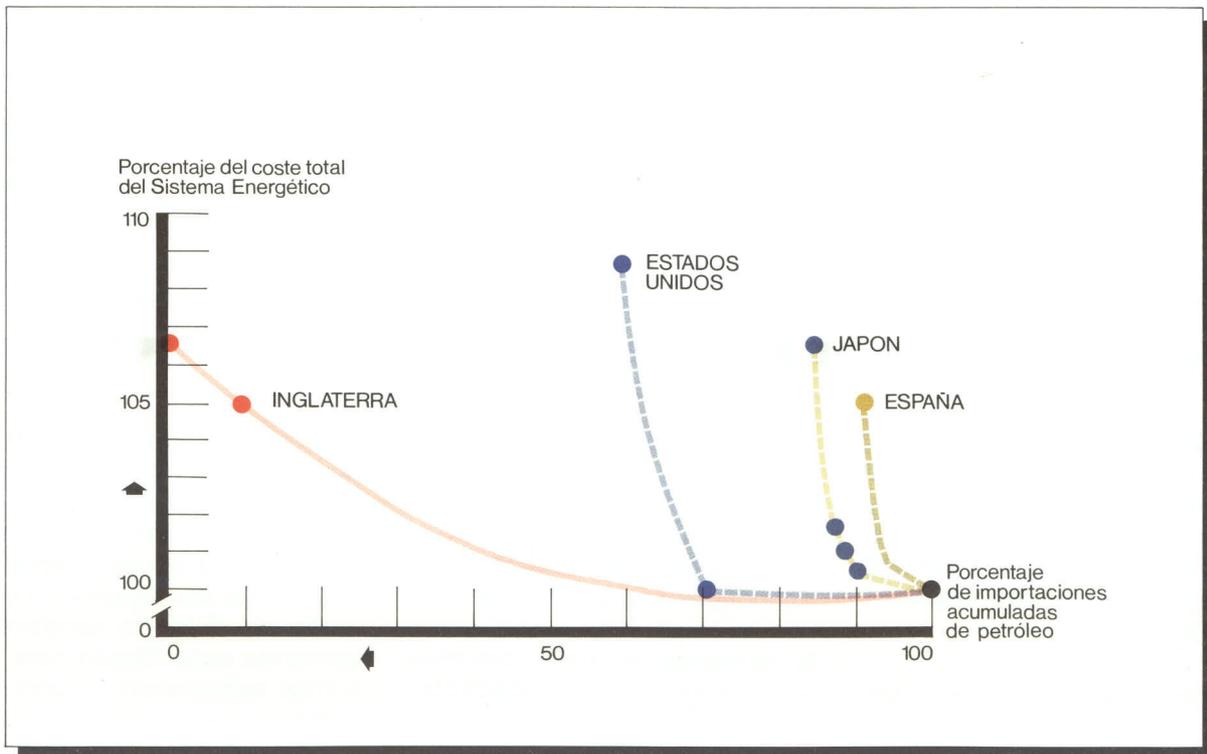
En el caso de que se acelere la implementación de nuevas tecnologías (mediante mayores inversiones en su investigación y desarrollo), su penetración en el mercado aumentará y su fecha de disponibilidad comercial se adelantará. Merced a este doble efecto, el potencial de sustitución de petróleo importado aumentará, y nos encontraremos sobre la curva de trazo discontinuo del gráfico 1, de la que se ha representado sola-

mente la zona comprendida entre el escenario de mínimo coste y un escenario en el que el sobrecoste del petróleo importado es de unos 4 dólares USA por gigajulio. Como es lógico, si se acelera la introducción de nuevas tecnologías pueden lograrse mayores disminuciones en las importaciones de petróleo con incrementos de coste del sistema reducidos, si bien hay que hacer notar que en los resultados del modelo no están incluidos los costes suplementarios que supondrían los fondos extra para un desarrollo

más rápido en la investigación de nuevas tecnologías.

Con objeto de comparar las curvas obtenidas con las de otros países de la AIE, en el gráfico 2 se muestran las obtenidas —para escenarios no acelerados— correspondientes a los cuatro países siguientes: Inglaterra, Estados Unidos, Japón y España. Puede verse que la elasticidad entre el coste total y las importaciones de petróleo varía sensiblemente de unos países a otros, siendo menor en los países pobres en recursos

GRAFICO 2
COMPARACION ENTRE LAS CURVAS
BALANCE COSTE/IMPORTACIONES ACUMULADAS DE PETROLEO



Fuente: *A Group Strategy for Energy Research Development and Demostration*. OCDE, Paris, 1980.

energéticos (casos del Japón y España). En estos países, los planes energéticos correspondientes tienen lógicamente como un objetivo prioritario la reducción máxima de las importaciones de petróleo, por lo que la parte de petróleo más fácilmente sustituible ya lo ha sido. Además es un factor importante el hecho de que se disponga o no de recursos petrolíferos nacionales, en cuyo caso la cantidad máxima de crudo importado que puede sustituirse es mayor (caso de Estados Unidos e Inglaterra).

Para el conjunto de 15 países de la Agencia Internacional de la Energía que colaboraron en el proyecto MARKAL, la curva de escenarios sin aceleración muestra que, como máximo, las importaciones de crudo pueden reducirse en aproximadamente un 30 por 100, con un aumento de coste del orden del 9 por 100 en relación con los valores correspondientes al escenario base de coste mínimo.

La definición de un determinado programa de investigación y desarrollo de tecnologías energéticas supone la adopción de una de las curvas representadas en el gráfico 1. Se han representado únicamente dos curvas, pero es evidente que existe una para cada nivel de esfuerzo que se dedique a la investigación y puesta a punto de nuevas tecnologías, nivel que dependerá, entre otros factores, del nivel de desarrollo del país y de la situación económica general.

Una vez adoptada una de estas curvas, la disminución de las importaciones de petróleo se podrá lograr mediante su sustitución por otras energías en la medida de lo posible, o median-

te programas de ahorro energético y conservación en los subsectores energéticos.

En definitiva, el procedimiento para lograr reducir las importaciones de petróleo consiste en estimular al máximo el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas, tanto las que permiten sustituir directamente al petróleo (aprovechamiento de esquistos y arenas bituminosas, hidrocarburos sintéticos) como las que permiten sustituirlo por otros tipos de energía (metanol y electricidad para transporte, bombas de calor y colectores solares para usos domésticos, etcétera).

En el caso español, y ya dentro del subsector eléctrico, la sustitución de combustibles líquidos se está llevando a efecto mediante el aprovechamiento máximo de los recursos hidráulicos, el empleo del carbón y de la energía nuclear para la generación eléctrica, la conversión a carbón de algunas centrales de fuel, el empleo como combustible de mezclas de carbón y fuel (COM), etc. Por consiguiente, las centrales de fuel jugarán un papel de equipo de reserva en nuestro sistema eléctrico, aunque no hay que olvidar que la diferencia entre un año hidráulico medio y otro seco o húmedo, supone unos 3 millones de toneladas de fuel-oil.

En el sector industrial pueden lograrse disminuciones importantes en el consumo de combustibles líquidos mediante diversas medidas que dependen de las características de cada subsector. En lo relativo a la siderurgia pueden lograrse reducciones importantes mediante la sustitución de combustibles líquidos, mejora de aislamiento en los procesos y empleo

de tecnologías siderúrgicas con elevados rendimientos energéticos (caso de la colada continua). En el subsector cemento, se está llevando a cabo un importante plan de sustitución de combustibles líquidos por carbón, habiéndose sustituido ya una parte importante del fuel consumido por el subsector. El resto de los subsectores industriales plantea posibilidades diversas, si bien hay que hacer notar que aunque la mayor parte del fuel consumido se emplea para la generación de vapor, existen dificultades derivadas de la cuantía de inversiones necesarias y del hecho de que algunos subsectores están muy atomizados en multitud de pequeñas empresas.

En el sector residencial y comercial pueden también lograrse reducciones en el consumo de petróleo mediante mejoras en aislamientos en las instalaciones ya existentes, empleo de otros combustibles, aprovechamiento de la energía solar, utilización de bombas de calor..., etcétera, dependiendo de las condiciones geográficas y climáticas de cada lugar.

El sector transporte es el que presenta actualmente mayores dificultades para la disminución del consumo de derivados de petróleo, si bien el diseño de motores con consumos específicos cada vez más reducidos redundará en una disminución del consumo. Existen alternativas tecnológicas que pueden resultar muy interesantes (combustibles líquidos sintéticos, licuefacción de carbón, empleo de hidrógeno como combustible, automóviles eléctricos, etc.) pero que se encuentran todavía en fase de investigación. De la rapidez que se consiga en la puesta a punto de estas tecno-

logías depende, fundamentalmente, la sustitución del petróleo en este sector.

4. CONCLUSIONES OBTENIDAS

Las conclusiones más importantes que resultan de este análisis a largo plazo del sistema energético español, realizado a través del modelo MARKAL de la Agencia Internacional de la Energía, podrían resumirse en los siguientes puntos:

- Posibilidad moderada de sustitución de las importaciones totales de petróleo durante los próximos cuarenta años (del orden de un 7 por 100) con relación al escenario base, es decir al escenario más económico de acuerdo con las expectativas actuales de los precios de las materias energéticas.

Esta moderada sustitución del sistema energético español frente a la de otros países de la Agencia Internacional de la Energía, como son Estados Unidos o Inglaterra, se debe fundamentalmente a que las medidas para reducir el consumo de petróleo ya están consideradas en el escenario base de referencia, por ser un objetivo básico de nuestra política energética. Esto mismo sucede en otros países de escasos recursos energéticos, como son Japón o Suecia.

En el caso español ya se han adoptado importantes medidas para la sustitución a corto plazo del petróleo, fundamentalmente en el sector eléctrico y en algunos grandes sectores industriales. Esto hace que en el futuro sea cada vez más difícil alcanzar mayores niveles de sustitución.

- En general, la gran importancia del desarrollo de investigación de nuevas tecnologías para la sustitución del petróleo, habiéndose visto que es mejor desde la óptica económica fomentar al máximo esta investigación que gastar el dinero en importar petróleo en el futuro. Naturalmente esta política exige unos sacrificios a corto plazo para obtener su rentabilidad a largo plazo, y esta estrategia tiene las restricciones propias de la escasez de los recursos financieros.

- Dentro del desarrollo de nuevas tecnologías energéticas adquieren especial importancia aquellas que pueden sustituir directamente al petróleo en el sector del transporte, dada la mayor dificultad de sustitución de los productos petrolíferos como carburantes.

NOTA

(1) Este precio sombra, nos indica el valor que tendría para el sistema la disponibilidad de una unidad más de crudo importado.