

por: Fernando Grafe*
Julio Grafe
Juan Luis Lloréns*
Silvio Martínez

1. INTRODUCCION: IMPORTANCIA DE LA MODELIZACION DEL SECTOR ENERGETICO

No es posible exagerar la importancia que ha adquirido el sector energético en relación a los restantes sectores de la actividad económica en cualquier país o región que sea. La progresiva sustitución de la fuerza de trabajo animal y humana, la incesante aceleración de los procesos industriales, la diversificación y al aumento de la cantidad de objetos consumidos per cápita, la generalización de las redes de comunicación y el crecimiento de los transportes privados, así como la climatización creciente de los espacios domésticos y públicos son rasgos característicos de las sociedades desarrolladas. Pero el uso en gran escala de la energía por parte de los países desarrollados se ha producido a riesgo de admitir que una parte cada vez más importante de los suministros energéticos provengan de fuentes situadas allende sus fronteras, en zonas que han acabado experimentando muy graves convulsiones políticas, justamente a causa de su elevado valor estratégico.

Los estados industriales apenas si dedicaron atención durante la década expansiva de los sesenta a los problemas que se originarían a largo plazo en materia de consumo/suministro de productos energéticos. Pero una vez estallada la crisis pasaron sin fases intermedias de esta actividad de confianza ciega a una disposición de prudencia temblorosa, como no cabría sino derivarse de la incertidumbre que gobernaba el funcionamiento del mercado -precios y cantidades- del petróleo: los sectores productivos completos de los estados industriales más previsores fueron revisados y replanteados; las costumbres y usos sociales, modificados; los planes de expansión, alterados.

* Del Instituto Vasco de Estudios e Investigación, S.A. -IKEI. Los autores desean agradecer a Iberduero, S.A. el apoyo financiero para el desarrollo metodológico de un modelo energético a escala regional.

Tras la crisis de 1973, el interés por la modelización de los sectores energéticos rebasó los ámbitos académicos en que estuvo recluído para pasar a ser un instrumento auxiliar en la definición de las políticas gubernamentales. Tal interés fue suscitado por la necesidad de tomar en consideración un factor que, por su abundancia y bajo precio no había supuesto hasta entonces una restricción significativa al crecimiento económico.

2. OPORTUNIDAD DE LOS MODELOS ENERGETICOS DE AMBITO REGIONAL

En esta primera fase del nuevo orden energético mundial, los modelos prospectivos que se han elaborado sobre sectores energéticos han concernido a los ámbitos generales de los Estados. Están por hacerse modelos que reflejen en detalle las realidades regionales y es nuestra opinión que el tiempo de hacer esto ha llegado.

Es indudable que la oportunidad de modelizar el sector energético a escala regional será tanto mayor cuanto mayor sea el grado de descentralización administrativa con que cuenten las regiones que constituyen un Estado. Concentrándonos al caso español, las comunidades autónomas es previsible que tengan transferidos instrumentos en materia de política energética. Algunos hechos apuntan ya sin ambigüedad en este sentido. Así, la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV), que se encuentra la más avanzada en materias de transferencias energéticas, ha adquirido ya competencias reales para actuar sobre determinados sectores relacionados con la energía. Fruto de la misma ha sido la creación del Ente Vasco de la Energía (EVE), órgano encargado de coordinar y planificar, así como efectuar el control de las actividades del sector público vasco en el área de la energía. Dentro de este órgano están inscritos entre otros el CADEM (Centro para el ahorro y conservación de la energía) y la Sociedad de Gas de Euskadi, que participa en el aprovechamiento y distribución del gas natural.

Por otra parte, desde el punto de vista de obtener una mayor utilidad a los recursos energéticos locales y lograr una mayor eficiencia en el consumo energético, la adquisición de competencias en materia energética por parte de los gobiernos regionales puede contribuir de forma positiva a la racionalización de la política energética global de un Estado. Diferentes razones hacen recomendar que la política energética a aplicar en un Estado geográficamente extenso se estructure a partir de políticas energéticas regionales diversificadas.

En primer lugar, la planificación del aprovechamiento de las energías alternativas (solar, eólica, etc.), caracterizadas por su dispersión geográfica y especificidad tecnológica de explotación, puede realizarse con mayor eficacia si se toman en consideración los condicionamientos propios de la diversidad (de climas, geográfica, etc.) de las regiones españolas. Nadie mejor que una administración regional para producir legislación de ámbito local que estimule la explotación y consumo de las energías alternativas.

La segunda razón que hace recomendable la escala regional para la modelización del sector energético es la creciente importancia que está adquiriendo el factor ahorro energético, al punto que se ha convertido en la más barata "fuente energética". Aunque es dudoso que parte de los instrumentos fundamentales de una política energética, a saber, los precios relativos de las diferentes energías, deban quedar en manos de las autoridades energéticas regionales, otra parte de estos instrumentos deberían hacerlo. En efecto, el logro de un máximo de racionalidad en materia de ahorro energético sólo se puede conseguir si el Estado, reconociendo las diferencias climáticas, topográficas, de grado y tipo de industrialización, etc., entre las distintas regiones, cede a las autoridades energéticas regionales amplias facultades para reglamentar e incentivar la adopción de medidas tendentes al ahorro de la energía, sin que ello afecte a la productividad general del sistema ni a la calidad de vida de los ciudadanos.

Por último, la modelización a escala regional del sector energético es especialmente oportuna en aquellas situaciones en que se produce un proceso de reindustrialización y/o de reconversión industrial con participación en el mismo de las autoridades administrativas locales.

Lo dicho en cuanto a la oportunidad de modelizar el sector energético a escala regional, no contraviene en modo alguno la necesidad de modelizarlo también a escala general del Estado. Sería tremendamente irracional que el sector energético de un Estado se compusiese de un número de sector energéticos regionales desacoplados en su funcionamiento. Por eso, la técnica modelizadora que se adopte debe permitir la articulación de los modelos regionales en un modelo general, de ámbito estatal, en el que figurarían tanto las variables agregadas como los instrumentos más generales de la política energética del Estado, v.gr.: los precios relativos de los diferentes tipos de energía.

Resumiendo: la propuesta de modelización regional del sector ener

gético no es una alternativa excluyente de la modelización a escala general del Estado; es una propuesta concreta sobre la forma de hacer esta última: tomando nota de la existencia de importantes diferencias regionales, en cuanto al medio y al tipo de actividad económica, y aprovechando la existencia de administraciones regionales que pueden acomodar los rasgos de la política energética global mediante políticas regionales localmente beneficiosas.

3. TIPOS DE MODELOS UTILIZADOS

En los últimos años, han sido múltiples los modelos que se han ido elaborando, la mayoría de ellos centrados en la especificación de la demanda energética, quizás porque históricamente la producción energética, traducida en forma de ofertas energéticas suministradas, ha ido acompañándose siempre al nivel exigido por el consumo. Ciertamente, no se puede decir que se estuviese tomando nada en serio el trabajo de Forrester* (1971), su controvertido informe al Club de Roma, en el que ya anticipaba una eventual escasez en los suministros de materias primas energéticas, de continuar las tendencias históricas en el consumo de energía.

Los distintos modelos que se han elaborado para formalizar el curso de las principales variables relacionadas con el sector energético pueden clasificarse según cuatro diferentes métodos analíticos:

- (i) Modelos econométricos
- (ii) Modelos deterministas
- (iii) Modelos en dinámica de sistemas
- (iv) Modelos de programación.

Pasemos a exponer las posibilidades que cada una de estas técnicas ofrecen, para extraer más tarde consecuencias en orden a su idoneidad para la modelización energética a escala regional.

* J.W. Forrester, World Dynamics, Wright-Allen Press, Cambridge Massachusetts.

(i) Modelos econométricos

Esta ha sido la técnica más profusamente utilizada.

En los modelos econométricos se supone que la variable endógena (explicada) es una función aleatoria de determinadas variables exógenas (explicativas) y que esta relación es significativa estadísticamente. El objeto de los modelos econométricos es no sólo descubrir las relaciones entre las variables (siempre que estén bien especificadas), sino también la evolución probable de la variable explicada.

Es importante señalar dos aspectos de los modelos econométricos, en orden a descubrir las limitaciones inherentes a este tipo de modelos. El primer aspecto a tener en cuenta es la hipótesis temporal de los parámetros estimados; esto es, que en el intervalo temporal de la previsión se mantenga con idéntico grado de bondad la misma estructura funcional entre las variables. Esta hipótesis supone una cierta limitación en lo que respecta a las proyecciones a largo plazo de los modelos econométricos. En efecto, ellos son incompatibles con cualquier tipo de cambio estructural que repercuta sobre las elasticidades. Y es de observar que precisamente alteraciones estructurales de este tipo son características de los períodos de crisis. Además, como un segundo aspecto, habría que mencionar la dificultad de implementar en los modelos econométricos las llamadas transferencias temporales (estructuras complejas de retardo, feedbacks, etc.), muy especialmente en aquellos casos en que se dispone de series de datos cortas.

Por el contrario, frente a estos inconvenientes los modelos econométricos poseen la virtud (que es una ventaja relativamente a otras técnicas modelizadoras) de permitir conocer el grado de incertidumbre existente en las previsiones, mediante la estimación de los errores de previsión.

Más en particular, por lo que respecta a la validez en el largo plazo de los modelos econométricos sobre la problemática energética, merece que se destaque entre otros el trabajo de Chateau (1975)*, del cual se pueden sintetizar los siguientes puntos:

* B.Chateau, "The methodology of long term forecasting: limitations of traditional methods and proposals", Energy, Systems Forecasting, Planning and Pricing. University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, 1975.

- * Las series estadísticas disponibles tan sólo permiten, en ciertos casos, medir la elasticidad-precio del consumo, y no de la función de demanda energética.
- * El concepto de elasticidad-precio es estático y refleja el comportamiento de los consumidores dentro de un contexto y estructura dados; constituye, por consiguiente, un inconveniente hasta cierto punto insuperable para la proyección en el largo plazo.
- * En relación con el punto anterior, es necesario tomar en consideración un gran número de variables que interrelacionadas constituyen el mecanismo de funcionamiento del sistema energético, variables que son susceptibles de ser alteradas bruscamente por factores externos que alteran la estabilidad estructural del sistema. Los modelos econométricos presentan, en este aspecto, una excesiva rigidez.

Sin pretender clasificar exhaustivamente la gran variedad de modelos econométricos utilizados, a continuación se presentan tres grandes grupos de modelos definidos en función de los mecanismos de demanda que reproducen:

a) Modelos de demanda en relación con la elasticidad-precio.

Estos modelos relacionan la demanda energética con las variaciones en los precios de la energía, de tal forma que se estima la sensibilidad de la demanda ante cambios en los precios. Se basan en la evidencia empírica de que el precio de la energía es un factor esencial en la explicación del comportamiento de la demanda; especialmente a medio y largo plazo el consumo energético se muestra muy elástico ante el precio asignado, contribuyendo asimismo a la modificación de la forma de uso de la energía (Taylor, 1977)*. Igualmente, se producen procesos de sustitución de energías por variaciones en los precios, especialmente intensos a corto plazo en el sector residencial, y a medio y largo plazo en el sector industrial.

* Taylor, L.D., "The Demand for Energy: A Survey of Price and Income Elasticities", International Studies of the Demand for Energy, North Holland Publishing Company, 1977.

b) Modelos de reparto de mercado.

Estos modelos pretenden reproducir la combinación de energías que demanda cada consumidor (sector, individuos, etc.), de tal forma que los parámetros estimados pueden identificarse como factores de ponderación; esto es, como la contribución relativa de cada tipo de energía al consumo final. Las variables precio también son introducidas habitualmente en estos modelos, ante la convicción de que el reparto del mercado energético es muy sensible a variaciones en los mismos.

c) Modelos relacionados con el equipamiento.

Se basan en la consideración de que la demanda de un tipo de energía es función de la cantidad de equipos en servicio, medida por el consumo teórico de dichos equipos y por la tasa de utilización de los mismos. Para ello se distingue la demanda comprometida asociada al equipamiento ya existente (no susceptibles de ser modificados los consumos específicos), y la demanda libre que depende de las variaciónes de equipamiento (cambios por obsolescencia, introducción nuevas tecnologías, etc.) y de otras consideraciones económicas.

(ii) Modelos deterministas

Es otra de las técnicas utilizadas para la modelización energética. Existe una gran heterogeneidad en los planteamientos y en la estructura de estos modelos. En general, se basan en una formalización de las relaciones entre las partes constitutivas del modelo a través de ratios, coeficientes técnicos, etc., que permiten configurar un esquema jerárquico de ecuaciones simultáneas. En algunas ocasiones, esta metodología viene combinada con un modelo econométrico que genera las variables macroeconómicas, constituyendo la "semilla" del resto del modelo. Otros modelos, como el que se describe brevemente más adelante, se basan en una definición previa de escenarios plausibles, en los que se señalan las tasas de crecimiento del PIB, población, etc.

De entre estos modelos puede considerarse el MEDEE* desarrollado por Chateau y Lapillone como el más exhaustivo y completo. En efecto, los modelos MEDEE (el MEDEE 3 constituye la versión más moderna y sofisticada) se basan en una descripción detallada de las distintas categorías o módulos de uso final de energía, en los que la demanda tiene unas características homogéneas**. A su vez, se identifican en cada módulo la necesidad social o actividad económica que origina la demanda, cuantificando las relaciones entre módulos y actividad a través de funciones matemáticas (deterministas).

La identificación de estos "determinantes" (coeficientes de influencia) de cada módulo se organiza en torno a los siguientes puntos:

- i) Análisis de la influencia de los precios de la energía en la demanda, a través del análisis de la conducta del consumidor con respecto al consumo y las opciones tecnológicas.
- ii) Identificación de los cambios tecnológicos y sus efectos en la demanda energética.
- iii) Análisis de la influencia de las principales decisiones en materia de política energética.

Dado que la predicción se extiende hacia el futuro, es imposible cuantificar o formalizar la evolución de todos los determinantes. Con el fin de soslayar esta dificultad se introduce la técnica de escenarios, que permite incorporar supuestos o hipótesis exógenamente al modelo, a través del método Delphi.

Es indudable que estos modelos MEDEE tienen alguna semejanza con los modelos en dinámica de sistemas, aunque éstos últimos permiten una mayor explicitación de las retroalimentaciones del sistema, así como una menor rigidez en la formalización.

* Para una visión más completa puede consultarse B. Chateau y B. Lapillone, "Long term energy demand forecasting. A new approach", Energy Police, Junio 1978.

** Una metodología similar se desarrolla en el excelente trabajo de G. Leach, A low energy strategy for the United Kingdom, The International Institute for Environment and Development, Londres, 1979. Las proyecciones se realizan por un proceso de ajuste de los requerimientos energéticos teniendo en cuenta los horizontes temporales de incorporación de tecnologías de conservación.

(iii) Modelos en dinámica de sistemas

La técnica de dinámica de sistemas también ha sido utilizada para la construcción de diversos modelos energéticos. Dadas sus características es especialmente sugestiva para simular sistemas estructuralmente complejos y poco estables, tal y como sucede en los sistemas socioeconómicos.

Diferentes modelos en DS han sido aplicados a la modelización del sistema energético. A continuación se exponen las líneas generales de cuatro modelos, considerados los más representativos por sus distintos enfoques:

a) Modelo de demanda HESSEN III*

La demanda de energía está considerada como un submodelo más dentro del modelo general del análisis económico del impacto de políticas medioambientales. La predicción energética se descompone en dos partes diferenciadas: consumidores de energía, desagregados a tres sectores (productivo, doméstico y transformación); y tipo de energía final para determinar la estructura de la demanda.

La determinación de la demanda se efectúa por simple extrapolación lineal de las tendencias pasadas, lo que origina unos resultados en la predicción muy rígidos.

b) Modelo de oferta URANI**

Este modelo tiene como característica distintiva el analizar preferentemente el lado de la oferta. De carácter preliminar, muestra las interacciones entre el precio y la oferta de combustible y el aumento en la construcción y uso de plantas nucleares. El modelo está concebido para simular los efectos de política general en el sector del uranio y para predecir el comportamiento del sistema a largo plazo.

* H. Apel, W. Fassing, W. Meibner, M. Tschirschwitz, Ökonomische Aspekte des Umweltsproblems. Eine Simulationstudie für das Land Hessen, Campus Verlag. Frankfurt/New York, 1978.

** Economics Dynamics, Inc. Supply models with feedback features, Malibú-California, 1980.

c) Modelo FOSSIL 2*

El modelo FOSSIL 2 es utilizado por la Oficina de Análisis de la División de Política y Evaluación del Departamento de la Energía de los Estados Unidos. Está considerado como el modelo más potente para el análisis de la política energética. El FOSSIL 2 es un modelo en dinámica de sistemas que contiene una estructura dinámica donde se reproducen las relaciones causales, los efectos de realimentación y retardos que ocurren en la vida real. Su utilización en la predicción permite simular la demanda energética de todos los sectores económicos bajo determinados supuestos de crecimiento del PNB. Los precios de la energía se computan endógenamente, así como los multiplicadores de disponibilidad de recursos. Los efectos de conservación se introducen exógenamente. El modelo FOSSIL 79, citado a pie de página, constituye una versión preliminar.

d) Modelo de usos de la energía**

El objetivo principal de este modelo es estudiar el impacto de nuevas fuentes energéticas y de nuevas tecnologías. El modelo se centra principalmente en el análisis del crecimiento de la demanda energética en los sectores industrial, residencial-comercial, transporte y generación de electricidad, así como la evolución previsible de las fuentes de energía primaria de carbón, petróleo, gas natural y uranio. La configuración del modelo es de gran versatilidad, lo que le permite introducir nuevas tecnologías energéticas.

(iv) Modelos de programación

El atractivo que pueden tener este tipo de modelos, por presertarse a la selección de una estrategia óptima, queda sólidamente contrarrestado por las grandes rigideces que encierran, lo que los

* G.A. Backus y J.R. Greene, FOSSIL 79: Introduction to the model. Resource Police Center, Thayer School of Engineering, Dartmouth College, Agosto, 1979.

** D.W. Sesser, A System dynamics model of national energy usage, Sandia Laboratories, Albuquerque, New Mexico, 1976.

ries estadísticas para la estimación. Pero es el caso que las bases estadísticas regionales suelen ser insuficientes, cuando no inexistentes, lo cual significa una dificultad insalvable para el uso de los modelos econométricos para el objeto que nos proponemos.

Los modelos en dinámica de sistemas tienen la gran ventaja de su adaptabilidad y versatilidad de construcción y manejo. Incluso, la técnica de dinámica de sistemas puede servir de soporte conceptual y formalizado de otras técnicas de análisis estadístico (regresión, series temporales, etc.).

Por lo que hace a la posibilidad de articular todos los modelos regionales en un modelo general, que dispusiese de sus propios instrumentos de control, debe decirse que la dinámica de sistemas no plantea ninguna dificultad. Por otra parte, esta técnica modelizadora no se resiente tan gravemente como la econométrica ante la falta de bancos estadísticos ni presupone, como lo hace este último, condiciones de estabilidad estructural del sistema. Es un hecho bien sabido que en dinámica de sistemas es más importante acertar con la estructura del modelo y en la correcta adopción de los retardos que atinar plenamente con las tasas. Con todo, un análisis de sensibilidad orienta bastante bien sobre la importancia que tienen los posibles errores en las tasas sobre el funcionamiento del modelo.

Además, dada la facilidad de manejo de este tipo de modelos se prestan especialmente bien para la simulación bajo diferentes supuestos sobre las variables de control -los precios, por ejemplo- y la elección de aquel supuesto que entre todos ellos optimice alguna función índice de rendimiento que combine los pagos de la factura energética regional/nacional con la renta regional/nacional a lo largo de un período de tiempo determinado. No se habría injertado propiamente en la técnica de la dinámica de sistemas los principios de la programación dinámica, pero sí el barrido sobre los espacios de las variables de control (oportunamente discretizados) está bien llevado, pasando de una malla gruesa progresivamente a una más fina (parcialmente a como se realiza en el proceso de búsqueda de un extremo de una función real sobre un dominio dado), el resultado puede ser altamente satisfactorio.

5. MODELO PROPUESTO

La técnica adoptada para la construcción del modelo y su simulación es la denominada dinámica de sistemas. Esta técnica permite reproducir todo el complejo entramado de interrelaciones existentes entre los sistemas socioeconómico y energético, de tal forma que a través del desarrollo del modelo se puedan valorar y contrastar las variaciones y los efectos sobre el sistemas energético que se producen por actuaciones exteriores al modelo.

Las distintas posibilidades que ofrece el modelo que se propone como instrumento de simulación dinámica, pueden sintetizarse en:

(i) Análisis de la dinámica a largo plazo.

- Detección de desequilibrios (escaseces, etc.)
- Restricciones (financieras, medioambientales, etc.)
- Retardos (construcción/puesta en servicio, etc.)
- Efectos realimentados (interacciones precio/demanda y/o precio/oferta)
- Relaciones causales

(ii) Contraste de políticas y estrategias energéticas.

- Impacto de políticas (conservativas, de precios, etc.)
- Velocidad y facilidad de implementación
- Dirección y magnitud relativa de los efectos
- Incompatibilidad entre inercia del sistema/ajuste de políticas
- Incompatibilidad a corto plazo/largo plazo.

El modelo consta de dos submodelos representativos del sistema socio-económico y del energético. El primero de ellos interrelaciona y reproduce los mecanismos de funcionamiento de la economía y su articulación con los aspectos demográficos. Así, se recogen las macrovariables más significativas (precios, consumo, inversión, demanda final, producción, renta y costes), estableciéndose los flujos de intercambios entre los sectores económicos a partir de la información suministrada por la metodología input-output. Los aspectos poblacionales son integrados en un sencillo modelo demográfico, que genera información poblacional significativa desde el punto de vista de su relación económica (población total, población activa, etc.).

La conexión entre el submodelo socio-económico y el energético se establece por medio de los consumos específicos (por habitante o por unidad producida), lo que permite expresar los requerimientos energéticos por parte del sistema socioeconómico en unidades de energía (previa traducción de precios a unidades físicas). Esta relación puede ser expresada mediante una matriz de intercambio para cada sector socioeconómico (industrial, transporte, residencial, etc.) y por cada tipo de energía final (electricidad, fuel, GLP, etc.).

Además, el submodelo energético recoge las relaciones que se establecen entre producción energética (transformación de las energías primarias) y recursos energéticos primarios (petróleo, gas, hidroelectricidad, etc.).

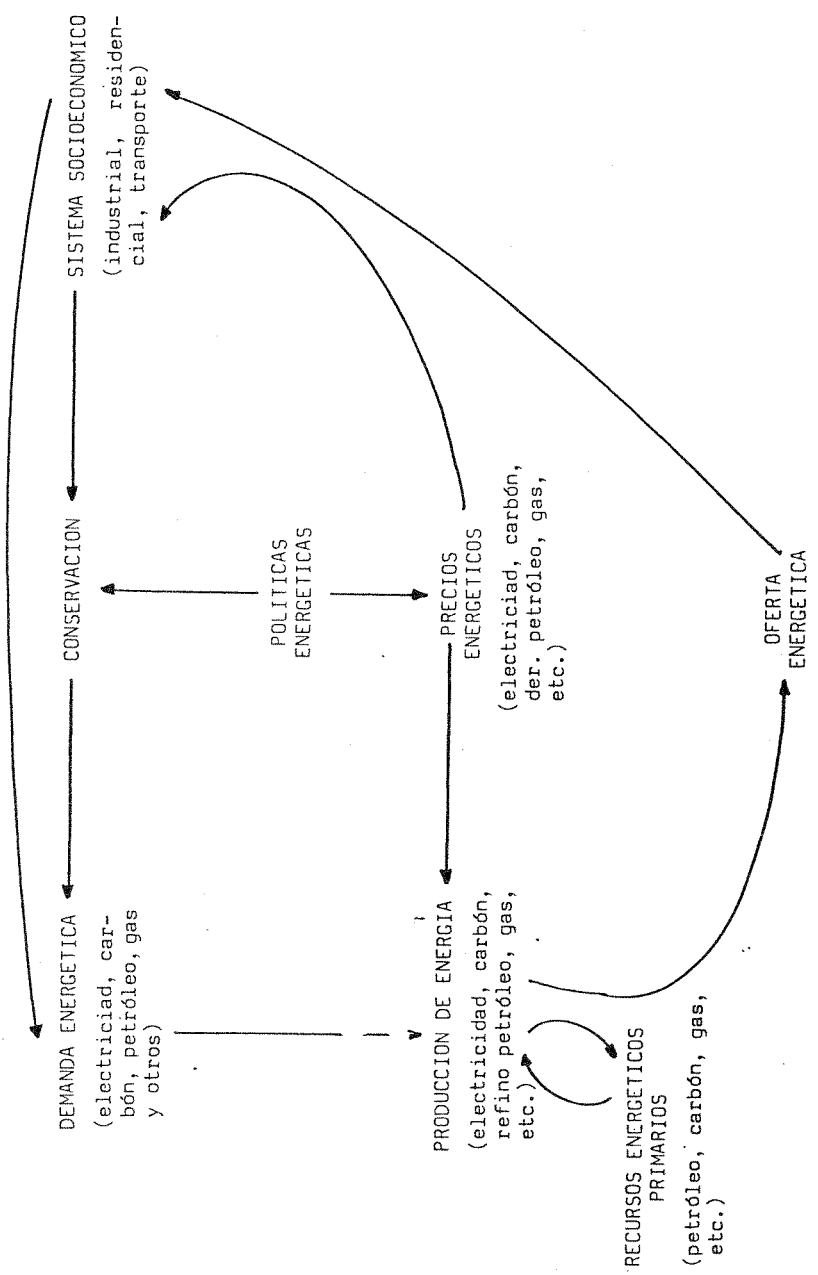
El esquema general que se muestra a continuación constituye una representación simplificada de la articulación del sistema energético con el socioeconómico. Puede observarse cómo éste último es el núcleo articulador del sistema energético, en la medida en que la oferta y demanda energéticas se generan para y por el submodelo socioeconómico.

Proceso interno de modelización

Como ya se ha señalado, el modelo consta de dos submodelos principales (energético y socioeconómico) conectados entre sí por un mecanismo de intercambio donde se confrontan la oferta energética y la demanda de energía por parte del sistema social.

En consecuencia, el modelo está concebido para que, en su proceso interno de funcionamiento, se genera la información cuantitativa y cualitativa que ponga en situación de equilibrio la producción y el consumo energético. Dada la enorme complejidad de esta interrelación, el ajuste entre las distintas partes se realiza en algunos casos con fuertes tensiones, además de los consiguientes retardos temporales.

Con el fin de facilitar la exposición de la dinámica de funcionamiento del modelo éste se ha subdividido en los siguientes subsistemas:



ESQUEMA GENERAL MODELO ENAURRE

- Precios-renta-población-consumo privado
- Demanda final-producción total
- Demanda final-producción-energía
- Energía-recursos energéticos
- Productividad-costes-precios.

El diagrama causal que se expone a continuación constituye un desarrollo del esquema general antes mencionado, y permite al lector seguir el esquema expositivo.

a) Submodelo de precios-renta-población-consumo privado.

El objeto de este submodelo es el de determinar la cuantía del consumo privado por categorías de bienes*. Para ello, se establece una relación funcional de consumo, donde los precios y la renta disponible intervienen como componentes principales del nivel de consumo.

Existen diversos métodos que permiten estimar el consumo privado a partir de niveles de precios y de la renta disponible. Uno de estos métodos podría ser el de estimar una función lineal de gastos (modelo Linear Expenditure System)**, donde el gasto en cada bien es una función (homogénea) lineal en precios y gasto total. La principal limitación de este método se encuentra en que requiere datos desagregados y actualizados de índices de precios de los bienes de consumo y de la estructura del gasto familiar, así como una larga serie de observaciones.

Otro modo*** de calcular el consumo privado es a través de la estimación previa de la renta regional, como suma de los valores añadidos brutos sectoriales. La renta regional obtenida se desdobra en consumo y ahorro, siendo para ello necesario estimar previamente la propensión media al consumo por medio de un análisis transversal con los datos obtenidos de una encuesta (niveles

* No está todavía especificado el nivel de desagregación.

** C. Lluch Picazo, "Estimación de un modelo lineal de gastos para la economía española", Revista Española de Economía, nº1, enero-abril 1971; y A. Lawrence y J. Braithwait, "The residential demand for electricity with time-day pricing", Journal of Econometrics, 9, 1979.

*** Gabinete de Estudios y Planificación, Navarra 2.000, Diputación Foral de Navarra, Pamplona, 1980.

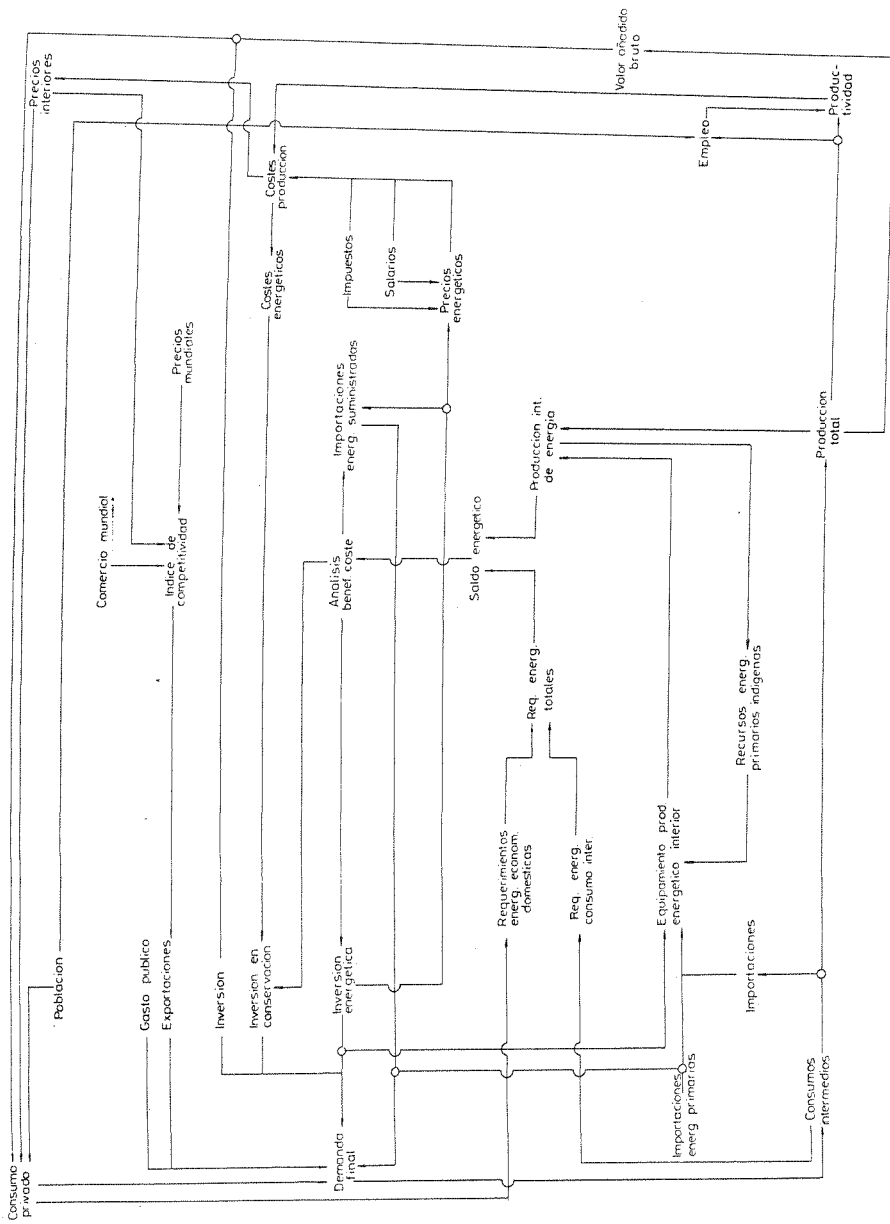


DIAGRAMA CAUSAL DEL MODELO

de ingresos, gastos mensuales, equipamiento familiar, etc.). Los problemas de este método surgen en cuanto a la especificación del modelo y a la dificultad de desagregar el consumo por categorías.

El componente población está planteado de forma sencilla: es to es, no está diseñado como un modelo demográfico complejo, donde se toman en consideración todos los mecanismos de desarrollo de la población. El nivel de desagregación de edades será pequeño y se tendrán en cuenta las tasas de natalidad y mortalidad en su sentido más general.

b) Submodelo de demanda final-producción total.

Este submodelo representa la esencia del sistema económico*. A través de la tabla input-output de la economía regional, y partiendo del modelo de Leontieff, pueden simularse los efectos que tienen sobre el sector productivo cualquier variación en el vector de demanda final.

De esta forma se establece una relación algebraica entre pro ducción y demanda final (consumo, inversión, importaciones, expor taciones y variaciones en los stocks) para todos los sectores incluidos en las tablas input-output. Esta relación puede expresarse como una función lineal del tipo $X = A \cdot D$. (notación matricial), donde A es la matriz inversa de los coeficientes técnicos, D es el vector exógeno de demanda final y X es el vector de output total.

A las limitaciones de los supuestos implícitos** inherentes a todo modelo input-output, hay que añadir las dificultades que se plantean a la hora de dinamizar los coeficientes técnicos en el contexto de un modelo en dinámica de sistemas con un horizonte temporal lejano. Estos coeficientes reflejan la proporción de in puts de un sector requeridos por otro sector para la producción de una unidad de output. Su estabilidad depende principalmente de dos factores: cambios tecnológicos y variaciones en los pre-

* Para un mayor detalle puede consultarse, entre otros, el clásico A. Alcaide Inchausti, Análisis Input-Output, Guadiana de Publicaciones, Madrid.

** Estos son: constancia de los coeficientes y rendimientos cons tantes de escala (linealidad de los coeficientes).

cios, factores que lógicamente experimentarán alteraciones en el intervalo de tiempo que recorra el modelo. Para evitar estos problemas, se disponen de diversos métodos para ajustar los coeficientes, ninguno de los cuales es definitivamente satisfactorio. El más profusamente utilizado es el método RAS-Stone, que en síntesis consiste en estimar los coeficientes técnicos de un año de referencia a partir de la información que se posee de los valores de los outputs e inputs totales de ese año, mediante un ajuste iterativo convergente.

c) Submodelo demanda final-producción-energía.

Este submodelo relaciona los requerimientos energéticos que se producen por el desarrollo de las actividades socioeconómicas, y la producción energética para satisfacer el consumo potencial, condicionada por las limitaciones en las disponibilidades energéticas así como por las importaciones que pueda soportar la economía. La diferencia entre requerimiento y producción origina un saldo energético determinado, que dependiendo de su signo puede accionar los mecanismos de producción, inversión en conservación y/o importaciones. Los requerimientos están expresados en energías finales por sector, mientras que la producción lo hace en energías finales. La conexión entre demanda energética por parte del sistema socioeconómico y oferta de energía se puede establecer a través de una matriz de intercambio, donde cada elemento de esta matriz reflejaría la cantidad de energía (electricidad, gas, etc.) requerida por los sectores socioeconómicos (industriales, domésticos, etc.) para obtener una unidad de producto.

Con el fin de evaluar cuál de las opciones se elige (singulares o combinadas) se ha incorporado al modelo un mecanismo que efectúa un análisis beneficio-coste. Al entrar en acción, fundamentalmente cuando el signo del saldo energético es negativo, determina cuáles deben ser los criterios en política energética que eviten restricciones: inversiones en equipamiento productivo, cambios en la estructura de las energías suministradas, inversiones en conservación, importaciones* de energías finales, etc.

* Dentro del término importaciones se incluyen tanto las provenientes del resto de las regiones como de fuera del Estado.

d) Submodelo oferta y producción energéticas-recursos energéticos.

Este submodelo simula el funcionamiento del sistema productivo energético, esto es, las distintas fases de transformación de energías primarias a energías suministradas.

Las energías primarias transformables en una región dada provienen de dos fuentes principales: de los recursos primarios indígenas y de las importaciones. Este submodelo genera el balance energético de la región, incluyendo los flujos de intercambios en los usos finales de energía.

Un aspecto interesante a evaluar es la relación entre energía suministrada de producción indígena y los recursos propios, ya sean los actualmente disponibles o los potenciales (gas, energías renovables, etc.).

e) Submodelo de productividad-costes-precios.

El objeto de este submodelo es el de reflejar los mecanismos de generación de costes, a partir de una estructura determinada de inputs productivos. En concreto, dentro de esta estructura se incluirán los costes de todos los inputs materiales requeridos para la producción, así como los diversos componentes del valor añadido (costes salariales, impuestos, etc.).

La determinación de los costes puede realizarse por varios métodos. En este caso se ha optado por un modelo input-output* que permite generar los costes de fabricación desde una doble vertiente de precios: por un lado, aquellos precios que se determinan preferentemente por las condiciones de demanda (normalmente asociados a los productos agrarios y materias primas); y por otro lado, aquéllos determinados por los costes de fabricación (costes de inputs materiales, salariales, importaciones).

* J.L. Lloréns Urrutia, Spanish inflation: an input-output analysis, Berkeley, 1978 (mimeografiado).

Ligazones entre los submodelos

Por lo que hace a los métodos que se utilizarían para relacionar los distintos elementos de un submodelo, y las relaciones de los submodelos, y las relaciones de los submodelos entre sí, se pueden apuntar diversas opciones. La elección de una u otra está condicionada en la mayoría de los casos por la disponibilidad de datos estadísticos. En este sentido debe tenerse muy presente que las series temporales de las principales variables económicas regionales contienen escaso número de observaciones, y ésto en caso de existir. Estos inconvenientes pueden suponer una restricción importante a la utilización de métodos estadísticos y econométricos sofisticados a la hora de estimar las relaciones paramétricas entre distintas variables. Para soslayar estos problemas la dinámica de sistemas posee instrumentos propios, que sin tener la relativa "seguridad" de la estadística, resultan de una probada utilidad y fiabilidad. A este respecto, Economics Dynamics Inc. (1980)* realizó una comparación en el modelo Mundo I entre los resultados obtenidos por Forrester (1971)** utilizando su método de construcción de funciones no lineales (criticado por excesivamente simple), y los resultados estimados a partir de una función potencial (más sofisticada). Se ha podido comprobar que todos los resultados cualitativos obtenidos por Forrester fueron ratificados y que sólo se comprobaron diferencias numéricas despreciables.

6. RESUMEN

Tras considerar la actualidad y oportunidad de modelizar el sector energético a escala regional, se analizan las posibilidades que ofrecen diversas técnicas de modelización para simular sistemas complejos y de ámbito regional. La técnica propuesta es la de dinámica de sistemas, pues es la que parece adaptarse mejor al carácter regional de los modelos energéticos que se proponen, así como presenta una gran versatilidad para introducir diversos efectos (retardos, retroalimentación, etc.) de interés para la modelización del sistema energético. Finalmente, se desarrolla un esquema general de modelo.

* Economic Dynamics Inc., op.cit.

** J.W. Forrester, op.cit.